TUGAS AKHIR –TL184834

REVIEW PERBANDINGAN EFEKTIVITAS ASAM KLORIDA DAN ASAM SULFAT DALAM *ATMOSPHERIC LEACHING* BIJIH NIKEL LATERIT TERHADAP SENYAWA KIMIA DAN *YIELD* UNSUR Ni

VITO VALDANO
NRP. 0251 1640000102

Dosen Pembimbing
Sungging Pintowantoro, S.T., M.T., Ph. D.
Fakhreza Abdul, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

TUGAS AKHIR−TL 184834

REVIEW PERBANDINGAN EFEKTIVITAS ASAM KLORIDA DAN ASAM SULFAT DALAM *ATMOSPHERIC LEACHING* BIJIH NIKEL LATERIT TERHADAP SENYAWA KIMIA DAN *YIELD* UNSUR Ni

VITO VALDANO
NRP. 02511640000102

Dosen Pembimbing
Sungging Pintowantoro, S.T., M.T., Ph. D.
Fakhreza Abdul, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

(*Halaman ini sengaja dikosongkan*)

FINAL PROJECT−TL 184834

REVIEW
COMPARISON EFFECTIVENESS OF CHLORIDE ACID AND SULPHURIC ACID IN *LEACHING* OF LATERITE NICKEL ORE ON CHEMICAL AND *YIELD* COMPOUNDS OF NI

VITO VALDANO
NRP. 02511640000102

Advisor
Sungging Pintowantoro, S.T., M.T., Ph. D.
Fakhreza Abdul, S.T., M.T.

MATERIAL AND METALLURGICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology and System Engineering
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2020

(*Halaman ini sengaja dikosongkan*)

REVIEW
PERBANDINGAN EFEKTIVITAS ASAM KLORIDA DAN ASAM SULFAT DALAM *ATMOSPHERIC LEACHING* BIJIH NIKEL LATERIT TERHADAP SENYAWA KIMIA DAN *YIELD* UNSUR Ni

TUGAS AKHIR
Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
VITO VALDANO
NRP 02511640000102

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Sungging Pintowantoro, S.T., M.T., Ph. D.... (Pembimbing 1)
2. Fakhreza Abdul, S.T,. M.T. ..... (Pembimbing 2)

SURABAYA
Agustus 2020

(*Halaman ini sengaja dikosongkan*)

REVIEW PERBANDINGAN EFEKTIVITAS ASAM KLORIDA DAN ASAM SULFAT DALAM *ATMOSPHERIC LEACHING* BIJIH NIKEL LATERIT TERHADAP SENYAWA KIMIA DAN *YIELD* UNSUR Ni

Nama **:Vito Valdano**
NRP **:02511640000102**
Departemen **:Teknik Material dan Metalurgi**
Dosen Pembimbing 1 **:Sungging Pintowantoro, S.T,M.T,Ph.D**
Dosen Pembimbing 2 **:Fakhreza Abdul, S.T., M.T.**

Abstrak

Leaching merupakan metode yang paling efektif untuk mengolah bijih nikel laterit berkadar rendah untuk memperoleh logam nikel dengan kadar yang tinggi. Potensi penerapan metode hidrometalurgi, baik menggunakan H_2SO_4 atau HCl, dalam leaching pada kondisi tekanan atmosfer dengan tujuan menganalisis senyawa yang terbentuk dan hasil yield Ni dengan parameter konsentrasi asam, rasio liquid/solid, temperatur, dan waktu pada literatur review ini. Senyawa Ni yang terbentuk selama proses leaching berupa $NiSO_4$ dan $NiCl_2$. Pada penggunaan larutan HCl pada paramater konsentrasi didapatkan yield tertinggi sebesar 85% pada H_2SO_4 dengan konsentrasi 7 M sedangkan pada HCl didapatkan yield tertinggi sebesar 99% dengan konsentrasi 6,5 M, Pada rasio liquid/solid pada HCl didapatkan 99% Ni pada l/s sebesar 4 dibandingkan dengan H_2SO_4 hanya mendapatkan 85 % Ni pada l/s sebesar 4 . Pada paramater temperatur, hasil yang didapatkan pada leaching menggunakan larutan HCl dengan yield Ni tertinggi yaitu 99% berada pada temperatur sebesar 90°C, dan pada larutan H_2SO_4 didapatkan yield Ni tertinggi sebesar 92% pada temperatur 90°C. Pada parameter waktu hasil terbaik pada ekstraksi Ni menggunakan larutan HCl adalah proses leaching selama 90 menit dengan esktraksi Ni sebesar 99 %, sedangkan pada leaching

menggunakan larutan H_2SO_4 didapatkan hasil leaching terbaik pada waktu leaching selama 8 jam dan ekstraksi Ni sebesar 98,2%.

Kata Kunci: ***HCl, H_2SO_4, Laterit, Leaching, Liquid/solid, Temperatur, Waktu, Yield.***

REVIEW COMPARISON EFFECTIVENESS OF CHLORIDE ACID AND SULPHURIC ACID IN ATMOSPHERIC LEACHING OF LATERITE NICKEL ORE ON CHEMICAL AND YIELD COMPOUNDS OF NI

Student Name	**:Vito Valdano**
NRP	**:02511640000102**
Department	**:Material and Metallurgical Engineering**
Advisor 1	**:SunggingPintowantoro, S.T, M.T, Ph. D.**
Advisor 2	**:Fakhreza Abdul, S.T., M.T.**

Abstract

Leaching is the most effective alternative method for treating laterite nickel ore so that the metal content in laterite nickel ore can be extracted perfectly. The potential application of the hydrometallurgical method, whether using H_2SO_4 or HCl, in leaching under atmospheric pressure conditions with the aim of analyzing the compounds formed and the yield of Ni with parameters of acid concentration, liquid / solid ratio, temperature, and time in this review literature. Ni compounds formed during the leaching process are $NiSO_4$ and $NiCl_2$. In the use of HCl solution in the concentration parameter the highest yield was 85% in H_2SO_4 with a concentration of 7 M while in HCl the highest yield was 99% in a concentration of 6.5 M, the liquid / solid ratio in HCl obtained 99% Ni in l / s amounted to 4 compared to H_2SO_4 only got 85% Ni at l / s of 4. At the temperature parameter, the results obtained on leaching using HCl solution with the highest Ni yield of 99% were at a temperature of 90 ℃, and the H_2SO_4 solution obtained the highest Ni yield of 92% at 90 ℃. In the time parameter the best results in the extraction of Ni using HCl solution were 90 minutes of leaching process with 99% Ni extraction, while the leaching using H menggunakanSO_4 solution obtained the best leaching results during leaching time for 8 hours and Ni extraction of 98.2%.

Keywords: ***Concentration, HCl, H_2SO_4, Laterite, Liquid/solid. Time, Temperature, Yield.***

KATA PENGANTAR

Assalamualakium Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji Syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmatnya sehingga penulis dapat menyelsaikan Tugas Akhir yang berjudul"*Review* perbandingan efektivitas asam klorida dan asam sulfat dalam *Atmospheric leaching* bijih nikel laterit terhadap senyawa kimia dan *yield* unsur Ni". Tugas akhir ini disusun dengan tujuan untuk memenuhi persyaratan studi. Dengan selesainya laporan tugas akhir ini maka, ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada

1. Allah SWT berkat rahmat, barokah, pertolongan dan bimingannya penulis dapat menyelsaikan laporan tugas akhir
2. Kedua orang tua dan Kakak penulis yang selalu mendukung dan mendoakan penulis dalam menjalani masa kuliah ini
3. Bapak Sigit Tri Wicaksono S.Si., M.Si., Ph.D. selaku kepala jurusan teknik material dan Metalurgi
4. Bapak Sungging Pintowantoro, S.T, M.T, Ph.D selaku dosen pembimbing dan ketua Laboratorium Teknologi pengolahan Mineral dan material yang telah banyak memberikan arahan
5. Bapak Fakhreza Abdul, S.T.M.T selaku dosen pembimbing sekaligus dosen wali penulis yang telah meluangkan waktu untuk bimbingan tugas akhir dan juga saran selama kuliah

Penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh pembaca. Adapun penulis meminta maaf apabila ada kesalahan.

Surabaya,21 Juli 2020
Penulis

Vito Valdano
02511640000102

(*Halaman ini sengaja dikosongkan*)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL ..... *i*
LEMBAR PENGESAHAN ..... *v*
ABSTRAK ..... *vii*
ABSTRACT ..... *ix*
KATA PENGANTAR ..... *xi*
DAFTAR ISI ..... *xiii*
DAFTAR GAMBAR ..... *xvii*
DAFTAR TABEL ..... *xxi*
BAB I PENDAHULUAN
1.1 Latar Belakang Literatur *Review* 1
1.2 Rumusan Masalah Literarut *Review* 3
1.3 Batasan Masalah Literatur *Review* 3
1.4 Tujuan Literatur *Review* 3
1.5 Manfaat Literatur *Review* 4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA
2.1 Nikel 5
2.2 Nikel Laterite 8
2.3 Ekstraksi Nikel Laterite 12
2.3.1 Ekstraksi dari Bijih *Saprolite* 13
2.3.2 Ekstraksi dari Bijih Limonite 15
2.4 *Hydrometallurgy* 17
2.4.1 *Leaching* menggunakan larutan asam klorida 23
2.4.2 *Leaching* menggunakan larutan asam sulfat 25
2.4.3 Perbedaan *leaching* menggunakan larutan asam sulfat dan asam klorida 27
2.5 Data hasil *paper* 29
2.5.1 Data mengenai konsentrasi Asam 29
2.5.2 Data mengenai rasio *Liquid/Solid* 33
2.5.3 Data mengenai temperatur 37
2.5.4 Data mengenai Waktu *leaching* 41
2.6 Penelitian sebelumnya 44

BAB III METODOLOGI *REVIEW*

3.1 Diagram Alir 51
3.2 Bahan penelitian pada *paper* yang di *review* 52
3.2.1 Bahan penelitian pada *leaching* menggunakan asam klorida 52
3.2.2 Bahan peneilitan pada *leaching* menggunakan asam sulfat..... 52
3.3 Pengujian karakteriasasi material pada *paper* yang di *review*..... 52
3.3.1 XRD (X-*Ray Difraction)*..... 52
3.3.2 XRF (*X-Ray Flourencence)*..... 54
3.3.3 SEM – EDX (*Energy-dispersive X-ray Spectroscopy dan Scanning electron Microscope)*..... 56
3.3.4 AAS (Atomic Absorption Spectroscopy)..... 57
3.4 Metode percobaan pada *paper* yang di *review*..... 59
3.4.1 Metode percobaan pada *leaching* menggunakan asam klorida 59
3.4.2 Metode percobaan pada *leaching* menggunakan asam sulfat..... 62
3.5 Metode pembahasan pada *paper review* 63

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Karakterisasi bahan penelitian pada *paper* 67
4.1.1 Karakterisasi sampel bijih nikel laterit sebelum *leaching*..... 67
4.1.2 Karakterisasi sampel bijih nikel laterit sesudah *leaching*..... 81
4.2 Pengaruh larutan asam klorida dan asam sulfat terhadap senyawa kimia saat proses *leaching*..... 85
4.3 Pengaruh tipe larutan dan konsentrasi asam larutan *leaching* terhadap *yield* Ni 92
4.4 Pengaruh rasio *liquid/solid* terhadap *yield* Ni 97
4.5 Pengaruh temperatur terhadap *yield* Ni..... 100
4.6 Pengaruh waktu *leaching* terhadap *yield* Ni..... 103

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN
5.1 Kesimpulan 107
5.2 Saran 108
5.3 Kritik 109
DAFTAR PUSTAKA *111*
LAMPIRAN *119*
UCAPAN TERIMA KASIH *127*
BIODATA PENULIS *129*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Diagram alir proses ekstraksi nikel *laterite* dan sulfida.....8
Gambar 2. 2 Endapan *laterite* di dalam tanah 10
Gambar 2. 3 Skema proses ekstraksi *ferronikel* dari bijih *saprolite* 13
Gambar 2. 4 Skema proses ekstraksi dari bijih *limonite* 16
Gambar 2. 5 Bagan proses hidrometalurgi 22
Gambar 2. 6 Skema *Leaching* nikel menggunakan larutan klorin.....25
Gambar 2. 7 Skema *Leaching* menggunakan larutan asam sulfat 26
Gambar 2. 8 Pengaruh konsentrasi HCl terhadap unsur Ni yang terekstraksi. 30
Gambar 2. 9 Pengaruh konsentrasi asam pada ekstraksi Ni untuk berbagai rasio S / L: ◆ 0,1, ▲ 0,25, ● 0,4 g / cm2. Kondisi operasi: 90 ºC, 120 menit, 0,1-0,4 g / cm3, 300 rpm. 31
Gambar 2. 10 Perbandingan *leaching* dengan parameter rasio *liquid/solid* pada larutan asam sulfat dan larutan asam klorida pada berbagai literatur : A. HCL, B.H_2SO_4, C.H_2SO_4, D.HCL 33
Gambar 2. 11 Perbandingan *leaching* dengan parameter temperatur pada larutan asam sulfat dan larutan asam klorida pada berbagai literatur : A. HCL, B.H_2SO_4, C.HCL, D.H_2SO_4 37
Gambar 2. 12 Perbandingan *leaching* dengan parameter waktu pada larutan asam sulfat dan larutan asam klorida pada berbagai literatur : A. HCL, B.H_2SO_4, C.HCL, D.H_2SO_4 41
Gambar 3. 1 Diagram Alir *paper review*……....51
Gambar 3. 2 Alat uji XRD.....54
Gambar 3. 3 Alat uji XRF 55

Gambar 3. 4 Alat pengujian EDX..... 57
Gambar 3. 5 Alat pengujian AAS..... 59
Gambar 3. 6 Sketsa peralatan *leaching* (1. Bak pengontrol suhu dengan aliran eksternal, 2. Pengaduk magnetik, 3. Kondensor berpendingin air, 4. Labu berleher 3 dengan 3 lubang, 5. Bak air 6.Tempat untuk penambahan dan pengambilan sampel, 7. Termometer) 61
Gambar 3. 7 Pengaturan eksperimental [a: reaktor, b: pengaduk mekanis, c: kondensor gelas, d: kontrol temperatur, e: penadah air]..... 62
Gambar 4. 1 Pola XRD bijih laterit limoni……..71
Gambar 4. 2 Pola XRD dari bijih nikel laterit − 0,053 mm sebelum *leaching* 73
Gambar 4. 3 Gambar mikroskop optik laterit, di mana goethite, magnetite, dan mineral lempung saling terkait erat (Wang, et al., 2012)..... 75
Gambar 4. 4 Gambar mikroskop optik bijih nikel laterit, di mana goethite, magnetite terbentuk dan *clay* mineral saling terkait erat..... 76
Gambar 4. 5 SEM – EDX menganalisis mineral seperti tanah liat [−0,053 mm ukuran partikel] 77
Gambar 4. 6 Analisis SEM – EDX mineral goethite / hematite [ukuran partikel-0.053mm] 79
Gambar 4. 7 Pola XRD laterit dan residu *leaching* menggunakan asam klorida pada a / o yang berbeda (kondisi *leaching* lainnya: l / s = 4, 100 ° C, dan 4 jam) 81
Gambar 4. 8 XRD filtrat hasil *leaching* menggunakan asam sulfat 83
Gambar 4. 9 Perbandingan Pola XRD sebelum dan sesudah *leaching* pada asam klorida..... 85

Gambar 4. 10 Perbandingan Pola XRD sebelum *leaching* dan sesudah *leaching* pada penelitian (Kursunoglu & Kaya, 2016). 90
Gambar 4. 11 Perbandingan perbedaan kondisi *leaching* terhadap *yield* unsur Ni.....92
Gambar 4. 12 Grafik pengaruh konsentrasi asam terhadap nikel yang terekstraksi.....95
Gambar 4. 13 Pengaruh rasio *liquid/solid* terhadap *yield* unsur Ni dalam larutan HCL pada dua jurnal yang berbeda.....97
Gambar 4. 14 Pengaruh rasio *liquid/solid* terhadap *yield* unsur Ni dalam larutan H_2SO_4 pada dua jurnal yang berbeda 98
Gambar 4. 15 Pengaruh temperatur terhadap *yield* unsur Ni dalam larutan H_2SO_4 pada dua jurnal yang berbeda.....100
Gambar 4. 16 Pengaruh temperatur terhadap *yield* unsur Ni dalam larutan HCl pada dua jurnal yang berbeda.....100
Gambar 4. 17 Pengaruh waktu terhadap *yield* unsur Ni dalam larutan H_2SO_4 pada dua jurnal yang berbeda.....103
Gambar 4. 18 Pengaruh waktu *leaching* terhadap *yield* unsur Ni dalam larutan HCL pada dua jurnal yang berbeda.....103

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat Fisik Nikel.....6
Tabel 2.2 Penggunaan logam nikel di dunia.....6
Tabel 2.3 Negara yang memiliki sumber daya nikel (sulfida Dan *laterite*) 9
Tabel 2.4 Perbedaan proses hidrometalurgi dan pirometalurgi 19
Tabel 2.5 Karakteristik khusus sulfur dan hidroklorik 27
Tabel 2.6 erbandingan *leaching* dengan larutan HCl dan H_2SO_4.....28
Tabel 2.7 Hasil *leaching* pada sampel sechol.....29
Tabel 2.8 Hasil Ekstrkasi Nikel Terbaik dari masing masing *paper* dengan variasi konsentrasi asam.....32
Tabel 2.9 Hasil Ekstrkasi Nikel Terbaik dari masing masing *paper* dengan variasi rasio *liquid*/*solid* 36
Tabel 2.10 Ekstraksi logam (%) dari bijih laterit setelah 6 jam *leaching* dengan HCl dan H_2SO_4 (Mystrioti, Papassiopi, Xenidis, & Komnitsas, 2018).....39
Tabel 2.11 Hasil Ekstrkasi Nikel Terbaik dari masing masing *paper* dengan variasi temperatur.....40
Tabel 2.12 Hasil Ekstrkasi Nikel Terbaik dari masing masing *paper* dengan variasi waktu *leaching*.....43
Tabel 3.1 *Paper* yang akan di *review* 64
Tabel 4.1 Komposisi kimia sampel bijih nikel laterit 67
Tabel 4.2 Komposisi kimia dari bijih nikel laterit dalam fraksi ukuran partikel yang berbeda oleh XRF 68
Tabel 4.3 Karakteristik sampel bijih nikel kering yang telah disaring 70

Tabel 4.4 Analisis unsur EDX untuk mineral seperti tanah liat [−0,053 mm ukuran partikel]. 78
Tabel 4.5 Analisis unsur EDX dari mineral goethite / hematite-like [-0,053 mm u kuran partikel]..... 80
Tabel 4.6 Nilai Ka dalam berbagai larutan asam..... 94

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Literatur *Review*

Seiring berkembangnya waktu dan teknologi, kebutuhan manusia akan logam semakin tinggi, contoh logam yang lagi banyak digunakan adalah logam Ni untuk pembuatan logam feronikel sebagai bahan pembuatan *stainless steel* (T.E. Norgate, 2004). Di dunia sendiripun penggunaan logam Ni sangat besar, nikel banyak banyak digunakan dalam berbagai aplikasi komerisal dan industri seperti elektorda, bahan pelapisan, kabel elektronik, pelindung tembaga, industri baterai, elektronik, industri pesawat terbang yang cenderung harus terbuat dari logam nikel yang murni tanpa bahan campuran apapun. Dalam banyak produk itu, nikel digunakan sebagai bahan baku, yang dicampur dengan jenis logam lain, atau sebagai logam utama. Sifat yang multiguna dari dari nikel tersebut membuatnya menjadi komoditas logam yang sangat diincar dan strategis (Muas, 2019).

Di dunia sendiri bijih nikel terbagi menjadi 2 yaitu bijih nikel laterit dan bijih nikel sulfida Terdapat sekitar kurang lebih 70% cadangan bijih nikel dunia adalah laterit dan 30% adalah sulfida, sedangkan produksi nikel dunia didominasi sebesar 60% berasal dari bijih nikel sulfida dan sebesar 40 % sisanya berasal dari bijih nikel laterit. (Prasetyo W. M., 2016) Bijih nikel laterit yang mempunyai cadangan lebih banyak, perlu dimanfaatkan secara maksimal, karena cadangan bijih nikel sulfida yang digunakan sebagai bahan baku terus menurun secara signifikan (Norgate, 2011). Penurunan cadangan nikel kadar tinggi menyebabkan penggunaan bijih nikel kadar rendah, khususnya yang mengandung Ni kurang dari 2% mulai diperhatikan karena berpotensi menjadi bahan baku produksi nikel di masa depan. Dengan banyak sekali cadangan bijih nikel laterit pengembangan pada bijih tersebut sangat diperlukan sehubungan dengan mulai berkurangnya cadangan bijih nikel dunia. (Setiawan, 2016).

Metalurgi ekstraksi biasanya digunakan untuk *recovery* nikel dari laterit, *leaching* yang digunakan biasanya menggunakan *atmospheric leaching* dan *HPL (high pressure leaching)*. Namun proses *leaching* akan menimbulkan masalah lingkungan dan kesehatan serta dapat meningkatkan biaya pengolahan limbah (Kim J, 2009). Pada kenyataanya proses yang paling banyak digunakan pada saat ini adalah pirometalurgi. Karena pirometalurgi dianggap teknologi yang sudah tua, dan nilai ekonomisnya semakin rendah karena membutuhkan energi yang sangat besar akan tetapi kadar nikel yang didapatkan tidak terlalu tinggi sehingga dibutuhkan teknologi baru untuk mendapatkan Ni yang lebih efisien dan dapat menghasilkan Ni dengan kadar yang tinggi. Hydrometralurgi sampai saat ini masih dianggap sebagai teknologi baru dan sangat jarang penggunaannya (Anne Oxley M. E., 2015). *Leaching* yang merupakan bagian dari proses *hydrometallurgy* sendiri memiliki berbagai metode, yaitu metode *Leaching* menggunakan asam sulfat, dan menggunakan asam klorida. Dalam kedua metode tersebut akan dijelaskan mengenai pengaruh asam sulfat dan asam klorida dalam senyawa hasil proses *leaching*, dan perbandingan *yield* Ni pada larutan asam sulfat dan asam klorida dengan parameter konsentrasi asam, *rasio liquid/solid*, temperatur dam juga waktu *leaching*.

Dengan kendala yang ada penggunaan *Hydrometallurgy* di dunia maupun di indonesia, harus mulai dilakukan dengan dilakukannya studi lebih lanjut mengenai proses *leaching* tersebut, dengan melakukan perbandingan hasil nikel yang tersektraksi dari bijih nikel laterite menggunakan kedua larutan yang berbeda yaitu HCl dan H_2SO_4, dan kemudian dapat ditarik kesimpulan, manakah dari larutan tersebut yang lebih optimal dan lebih efisien penggunaannya dalam proses leaching untuk mendapatkan ekstraksi Ni yang lebih tinggi.

1.2 Rumusan Masalah Literarut *Review*

Berdasarkan latar belakang, dapat diambil rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh penggunaan asam sulfat dan asam klorida terhadap senyawa yang terbentuk pada proses *leaching* ?
2. Bagaimana pengaruh konsentrasi asam terhadap *yield* unsur Ni ?
3. Bagaimana pengaruh penggunaan asam sulfat dan asam klorida terhadap *yield* unsur Ni dengan parameter *rasio liquid/solid* ?
4. Bagaimana pengaruh penggunaan asam sulfat dan asam klorida terhadap *yield* unsur Ni dengan parameter temperatur ?
5. Bagaimana pengaruh penggunaan asam sulfat dan asam klorida terhadap *yield* unsur Ni dengan parameter waktu?

1.3 Batasan Masalah Literatur *Review*

Supaya diperoleh hasil akhir yang baik serta tidak menyimpang dari permasalahan, maka batasan masalah pada pembahasan ini adalah sebagai berikut :

1. *Review* tidak membahas mengenai kinetika *leaching*
2. *Literatur review* ini tidak membahasa mengenai mineralogi bijih nikel

1.4 Tujuan Literatur *Review*

Dengan adanya rumusan masalah di atas, maka dapat ditarik tujuan sebagai berikut :

1. Menganalisis pengaruh penggunaan asam sulfat dan asam klorida terhadap senyawa yang terbentuk pada proses *leaching.*
2. Menganalisis pengaruh konsentrasi asam terhadap *yield* unsur Ni
3. Menganalisis pengaruh penggunaan asam sulfat dan asam klorida terhadap *yield* unsur Ni dengan parameter *rasio liquid/solid*.

4. Menganalisis pengaruh penggunaan asam sulfat dan asam klorida terhadap *yield* unsur Ni dengan parameter temperatur.
5. Menganalisis pengaruh penggunaan asam sulfat dan asam klorida terhadap *yield* unsur Ni dengan parameter waktu

1.5 Manfaat Literatur *Review*

Literatur *review* ini bermanfaat mengetahui senyawa apa saja yang terbentuk saat proses leaching dan pengaruh parameter konsentrasi asam, *rasio liquid/solid*, waktu, temperatur terhadap *yield* unsur Ni dan membandingkan manakah dari larutan HCl dan H_2SO_4, yang paling efisisen dan paling optimal untuk mengekstraksi bijih nikel laterit.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Nikel

Nikel logam merupakan cerminan teknologi kemajuan abad ke-20 dan ke-21, kemunculannya sangat penting untuk stainless baja, berbagai paduan logam khusus, juga seperti mata uang, bahan kimia, pigmen, dan baterai. Nikel adalah logam transisi yang keras ,ulet, tahan karat, ringan, kuat anti karat, mudah ditempa, sedikit *ferromagnetis*, konduktor yang baik terhadap panas dan listrik, tahan terhadap oksidasi, mudah ditarik oleh magnet, larut dalam asam nitrit, tidak larut dalam air dan amoniak, sedikit larut dalam hidrokhlorik dan asam belerang. Memiliki berat jenis 8,8 untuk logam padat dan 9,04 untuk kristal tunggal (Everhart, 1971) dan memiliki simbol kimia (Ni). Memiliki nomor atom 28 dalam Tabel periodik, memiliki berat atom 58,7 dan dalam, dan nikel termasuk kedalam periode ke 4 dan golongan ke – 10. Tidak ada tanggal pasti dari penemuan dari logam nikel tersebut, tetapi tidak disengaja penggunaan nikel dapat ditelusuri kembali ke 3500 SM. Penemuan formal logam pada 1751 di sebuah mineral (Niccolite atau Nickeline) dikreditkan ke Baron Axel Frederik Cronstedt, seorang Swedia ahli mineral dan kimia yang berkeinginan untuk mengekstraksi tembaga dari mineral ini, tetapi pada saat proses tersebut hanya didapatkan logam putih. Baron Axel Frederik Cronstedt kemudian menyebutnya nikel setelah mineral tersebut diekstraksi. (Haldar S. , 2017). Warnanya abu-abu putih keperakan- putih dengan kilau logam memiliki semburat emas. Memiliki titik ulet dan leleh pada 1455 ° C dan titik didih 2913℃. Pada Tabel 2.1 merupakan sifat fisik dari nikel.

Tabel 2. 1 Sifat Fisik Nikel

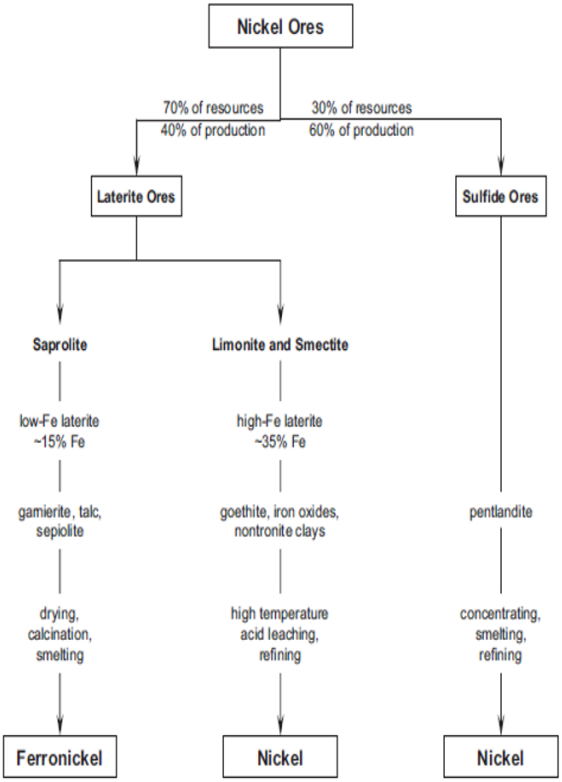
	"High purity" nickel (99.97% min)	Commercial nickel (99.5% nom)
Melting point, F	2650	2615–2635
Boiling point, F	4950	—
Vapor pressure (at m.p.), mm Hg	9.4×10^{-3}	—
Specific heat (70 F), Btu/lb/°F	0.11	0.109
Thermal conductivity (200 F), Btu/hr/ft²/°F/ft	45.7	39
Coefficient of thermal expansion (70–1000 F), per °F	9.2×10^{-6}	8.5×10^{-6}
Electrical resistivity,		
microhm-cm	7.16	9.5
ohms/cir mil ft	43.17	57.2
Temperature coefficient of resistance (68–212 F),		
microhm-cm /°F	0.0038	0.0027
Curie temperature, F	667	680
Saturation magnetization, gauss	6170	6000
Maximum permeability ($H = 1$), gauss	2000–3000	1500–2000
Initial permeability, gauss	200	200
Residual induction, gauss	3000	3100
Coercive force, Oe	3.0	3.0
Modulus of elasticity, ksi	30,000	29,600
Modulus of rigidity, ksi	12,000	11,700
Poisson's ratio	—	0.26
Density, lb/in.³	0.322	0.321

Karena nikel adalah logam yang memiliki sifat fisik yang baik dan mudah untuk digabungkan dengan berbagai macam logam sehingga menjadikan nikel sebagai logam yang banyak digunakan di seluruh dunia untuk menjadi *alloy* (logam campuran)

Tabel 2. 2 Penggunaan logam nikel di dunia (Prasetyo W. M., 2016)

Kategori	Proporsi Konsumsi Total,%
Stainless Steel	60
Nikel– based alloys	14
Alloy Steels	09
Electroplating	09
Foundry	03
Baterai	03
Copper based alloys	01
Katalis	01

Bijih nikel terdiri dari 2 jenis, yaitu nikel sulfida dan nikel *laterite*. Sebesar 70% deposit nikel di dunia berupa bijih *laterite*, namun baru 40% nikel yang diproduksi dari bijih *laterite*. Sedangkan sisanya 30% dari deposit nikel di dunia berupa dari bijih sulfida. Nikel yang ada di dunia lebih banyak yang diolah dari bijih sulfida, hal ini dikarenakan bijih nikel sulfida dapat menghasilkan nikel kualitas tinggi. Sedangkan untuk bijih nikel *laterite* lebih sering diproses menjadi *ferronikel*yang dipakai pada industri pembuata n baja terutama *stainless steel*. Namun tidak jarang juga bijih nikel *laterite* diolah untuk menjadi *nikelmatte* seperti yang ada di PT Vale Indonesia. Baik nikel *laterite* dan sulfida yang dapat diproses adalah bijih yang memiliki kandungan nikel sebesar 1,3% dan kobalt 0,1%. Bijih *laterite* banyak ditemukan di daerah tropis seperti Indonesia, Filipina, dan Kuba. Sedangkan bijih sulfida banyak ditemukan di Kanada dan Siberia Utara (Crundwell, Moats, Ramachandran, Robinson, & Davenport, 2011). Selain itu, luas sumber daya laut dalam nikel berada di kulit mangan dan bintil-bintil, yang menutupi sebagian besar dasar laut, khususnya Pasifik dan Samudra Hindia (Pratima Meshram, 2019). Untuk proses pengolahan bijih nikel terdapat di Gambar 2.1 ada perbedaan antara bijih sulfida dan bijih laterit dari segi keseluruhan proses.



Gambar 2. 1 Diagram alir proses ekstraksi nikel *laterite* dan sulfida (Crundwell, Moats, Ramachandran, Robinson, & Davenport, 2011).

2.2 Nikel Laterite

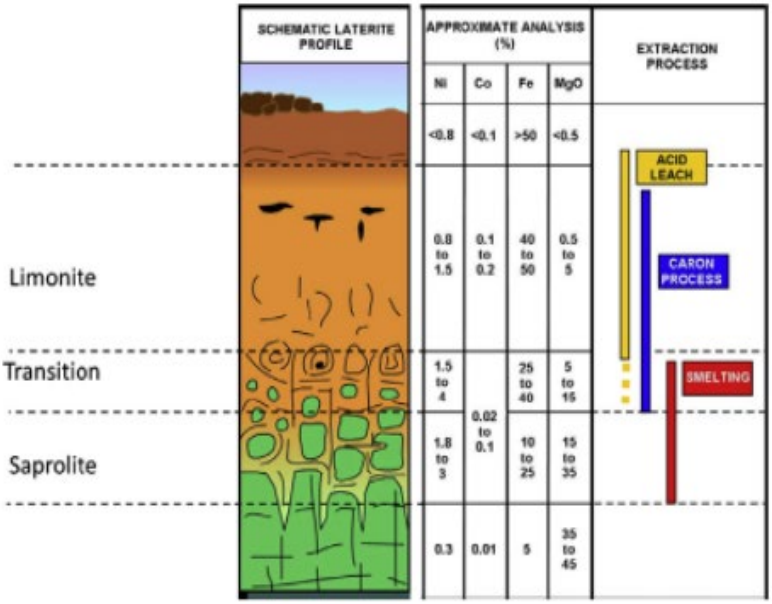
Pada umumnya nikel sulfida berada dibelahan bumi subtropis sedangkan *laterite* berada di khatulistiwa, dan jumlah sumber daya alam *laterite* lebih besar dari pada nikel sulfida. Berdasarkan data pada tahun 1988, Indonesia menempati posisi nomor dua didunia sebagai penghasil nikel *laterite.* Pada Tabel 2.3 merupakan negara di dunia yang memiliki sumber daya nikel

Tabel 2. 3 Negara yang memiliki sumber daya nikel (sulfida Dan *laterite*) (Prasetyo P. , 2016)

Negara	**% Total Ni**
New Caledonia (Laterite)	27
Indonesia (Laterite)	13
Canada (Sulfida)	11
Cuba (Laterite)	08
Uni Sovie/Rusia (Sulfida)	07
Total	**66**

Nikel *laterite* termasuk dari salah satu mineral logam hasil dari proses pelapukan kimia batuan ultramafik (batuan kaya akan mineral – mineral mafik atau *ferromagnesian* dan mengandung kurang lebih 45% silika), karena proses pelapukan tersebut mengakibatkan pengkayaan unsur Ni, Fe, Mn, dan Co secara residual dan sekunder (Burger, 1996) dan (Syafrizal, 2011) yang telah disadur oleh (Lintjewas, Setiawan, & Kausar, 2019).Nikel *laterite* bisa dilihat dengan ciri ciri adanya logam oksida yang berwarna coklat kemerahan mengandung Ni dan Fe (Cahit, et al., 2017). Salah satu faktor yang mempengaruhi laterisasi adalah morfologi,batuan asal dan tingkat pelapukan. Tingkat pelapukan yang tinggi sangan membantu proses laterisasi, dimana terbentuknya nikel *laterite* dimulai dari pelapukan yang intensif pada batuan peridotit, kemudian infiltrasi air hujan masuk ke dalam zona retakan dan melarutkan mineral yang mudah larut. Secara umum endapan *laterite* terdapat didaerah tropis yang bertemperatur hangat – panas, persebaran dari *laterite* sendiri bisa dilihat pada Gambar 2.2. Nikel dihasilkan dari laterit yang memiliki profil berlapis. Lapisan-lapisan tersebut meliputi: i) lapisan penutup (sekitar \ 0,8% nikel) yang biasanya dibuang, ii) zona bijih limonit (sekitar 1,2-1,7% nikel, sekitar 40% besi dan 1-4% magnesium oksida), iii) zona bijih saprolit (sekitar 1,6-2,3% nikel dan sekitar 7-25% besi) dan kemudian iv) lapisan batu [. Bijih laterit juga mengandung logam lain termasuk kobalt, mangan, dan kromium. Aluminium terutama diproduksi dari bauksit sementara sumber lain termasuk bauksit laterit atau silikat dan karst atau

karbonat bauksit. Titanium diproduksi dari sumber mineral rutil dan semakin banyak dari bijih limonite. (Lakshamanan, Shirdar, Chen, & Halim, 2015)



Gambar 2. 2 Endapan *laterite* di dalam tanah (Anne Oxley N. B., 2013)

Laterite berada pada lapisan dekat dengan permukaan, dan ditambang dengan metode *surface-mining*. *Laterite* dibagi menjadi 3 jenis layer, yaitu *limonite*, *smectite*(berada di tanah tanah tertentu dan jarang), dan *saprolite*. Pada Gambar 2.2, daerah *limonite* berada diatas *smectite* dan *saprolite.Limonite* terbagi menjadi 2 daerah dengan kandungan yang berbeda beda yaitu daerah red *limonite* dan yellow *limonite*. *Limonite* umumnya memiliki kadar Fe yang tinggi daripada layer layer yang lainnya. Pada daerah red *limonite* mineral yang terkandung paling banyak adalah Fe dengan

kadar kurang lebih 50 %, sedangkan pada daerah yellow *limonite* Fe yang terkandung sama seperti red *limonite* dengan kadar 50 % akan tetapi kadar Ni dan Kadar MgO lebih banyak daripada red *limonite*. Kemudian daerah di bawah *limonite* adalah smectite, smectite sangat jarang ditemukan di tanah *laterite*. Smectite biasanya berbentuk tanah liat, seperti nontronit, ditemukan di beberapa endapan, misalnya, di Murrin-Murrin di Australia Barat. *Limonite* berada pada daerah dekat permukaan, smectite berada pada daerah di bawah *limonite* dan saprolite berada pada lapisan paling bawah, Biasanya untuk jenis *limonite* dan smectite dianggap sama karena letak yang berdekatan dan proses yang sama. Untuk saprolite sendiri berada di paling bawah dengan kandungan Ni sebesar 1.5% - 3%, Kandungan Fe sebesar 10% - 25% dan kadar MgO yang tinggi sebesar 15% - 35% daripada *limonite dan smectite*.

Salah satu jenis *limonite* adalah *geothite* ((Fe,Ni)OOH). Salah satu jenis *smectite* adalah *nontronite clays*. Sebaliknya, layer *saprolite* mengandung kandungan besi yang rendah dan MgO yang tinggi. Hal ini dikarenakan layer *saprolite* yang berada jauh dari permukaan, yang tidak terpengaruh oleh cuaca atau reaksi kimia dari lingkungan dibandingkan *limonite.*

Penting untuk mengerti perbedaan layer pada bijih nikel *laterite* ini, karena jenis bijih yang berbeda akan membutuhkan proses ekstraksi yang berbeda pula. Ada dua jenis rute pengolahan yang umum pada nikel *laterite*: yang pertama *smelting* untuk mendapatkan *ferronickel*, dan *Leaching* dan *refining* untuk mendapatkan metal nikel. Proses *smelting* digunakan pada jenis *saprolite* karena kandungan MgO yang tinggi. Sedangkan proses *Leaching* dan *refining* dilakukan pada jenis *limonite-smectite* karena kadar besinya yang tinggi (Crundwell, Moats, Ramachandran, Robinson, & Davenport, 2011).

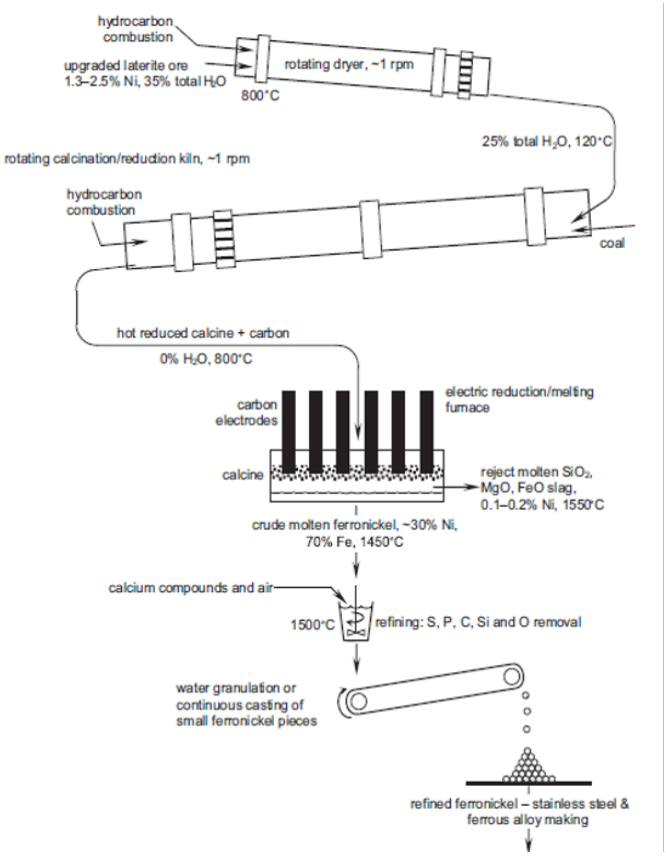
2.3 Ekstraksi Nikel Laterite

Bijih nikel *laterite* sebelum di proses harus melewati proses *crusher* yang berfungsi untuk menghancurkan bongkahan batu yang berisi nikel untuk membuang mineral pengotor yang lain, kemudian melakukan *grinding* unruk mendapatkan mineral yang berharga dan mendapatkan ukuran yang memenuhi persyaratan industri,kemudian melakukan *screening* untuk memisahkan ukuran partikel antara partikel besar dan partikel kecil. Hal tersebut dilakukan untuk mendapatkan konsentrasi nikel hingga 2 kali lipat.

Identifikasi lapisan-lapisan yang ada di bijih *laterite* sangat penting karena metode ekstraksi yang berbeda digunakan. Ada dua rute utama untuk memproses *laterite*: peleburan untuk menghasilkan *ferronikel*dan *Leaching* dan pemurnian untuk menghasilkan logam nikel. Kandungan besi bijih *limonite* dan *smectite* terlalu tinggi untuk dilebur secara ekonomi, sedangkan kandungan MgO dari bijih *saprolite* terlalu tinggi untuk di *Leaching* secara ekonomis Alasan *saprolite* menggunakan proses *smelting* adalah karena kandungan besinya yang rendah (15%) sehingga akan menghasilkan *ferronikel*dengan kadar nikel yang tinggi dan *saprolite* mengandung MgO yang lumayan tinggi (20%) yang akan bereaksi dengan pelarut secara berlebih dan mencegah nikel bereaksi dengan pelarut sehingga proses tidak berjalan dengan sempurna. Alasan *limonite* dilakukan *Leaching* dan *refining* adalah karena *geothite* dalam *limonite* mampu larut secara efisien di dalam asam sulfat dan jika temperaturnya cukup tinggi maka besi yang kadarnya cukup tinggi (40%) dalam bijih akan mengalami presipitasi menjadi *hematite* atau *jarosite*, serta karena kadar MgO yang rendah dalam *limonite* (kurang dari 3%) maka konsumsi dari asam sulfat akan lebih rendah sehingga proses pelarutan nikel akan lebih efektif (Crundwell, Moats, Ramachandran, Robinson, & Davenport, 2011)).

2.3.1 Ekstraksi dari Bijih *Saprolite*

Bijih saprolit sebagian besar dilebur menjadi *ferronickel*, yang biasanya mengandung 30% Ni dan 70% Fe, untuk digunakan dalam *stainless steel* dan paduan besi lainnya. Diagram skematis dari rute pemrosesan ini ditunjukkan pada Gambar 2.3



Gambar 2. 3 Skema proses ekstraksi *ferronikel* dari bijih *saprolite* (Crundwell, Moats, Ramachandran, Robinson, & Davenport, 2011)

Cobalt hadir dalam *ferronikel*dalam jumlah kecil tetapi tidak memiliki nilai ekonomis. Sejumlah kecil bijih saprolit dilebur menjadi sulfida *matte* dengan menambahkan belerang selama pemrosesan. Sebagian besar *matte* ini dibuat menjadi nikel paduan-*Grade* dengan oksidasi dan kemudian dengan reduksi dengan cara pemanggangan *(roasting)*. Beberapa *matte* ini dimurnikan secara hidrometalurgi menjadi nikel dan kobalt dengan kemurnian tinggi. (Crundwell, Moats, Ramachandran, Robinson, & Davenport, 2011). Feronike lmentah cair pada temperatur 1450℃ dengan komposisi umum yaitu 20-40% Ni, 80-60% Fe;

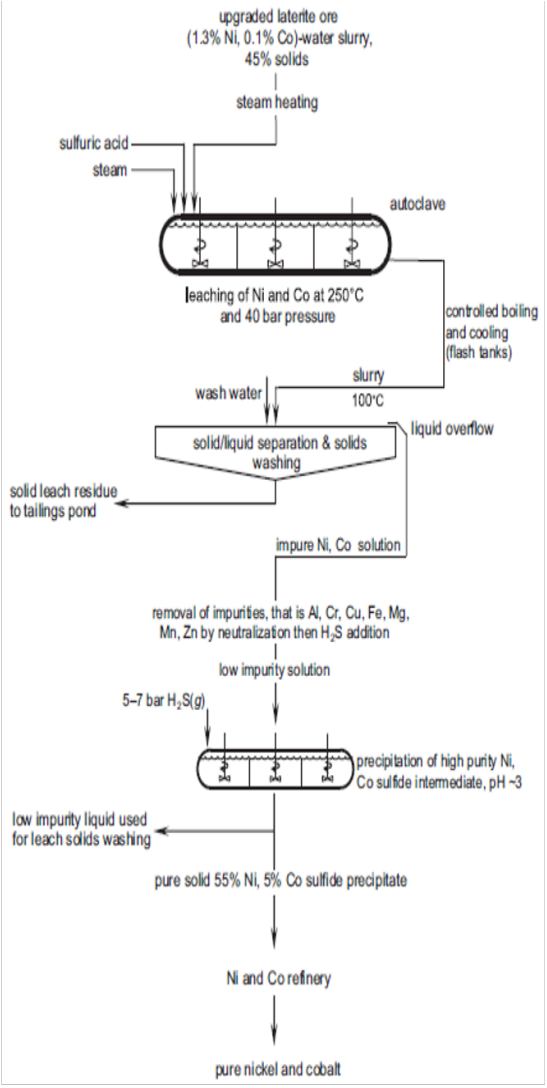
Proses *smelting* terdapat beberapa proses, yaitu *dewatering* adalah penghilangan air. *Dewatering*, atau pengeringan, biasanya dilakukan dalam tanur berputar yang berdiameter 4 m x 30 m. *Kiln* dipanaskan dengan bubuk batu bara, minyak bakar atau gas alam. Proses ini memakai prinsip pembakaran hidrokarbon dengan frekuensi putaran 1 rpm dan dalam temperatur 800 °C. Kelembaban bijih kering biasanya sekitar 22%, meskipun dalam beberapa operasi ini jauh lebih rendah. Bahan yang dikeringkan dikirim langsung ke *kiln* kalsinasi atau pertama-tama ke pabrik penghancur dan penyaringan dan kemudian ke *kiln* kalsinasi. Kalsinasi adalah penghilangan air yang terikat secara kimiawi dari bijih kering, Proses ini memakai prinsip pembakaran hidrokarbon dengan tambahan *coal* pada temperatur 120 °C dengan frekuensi putaran 1 rpm. Tujuan dari proses ini adalah untuk mereduksi bijih nikel dan menghilangkan kadar air (kadar air 0%). Selanjutnya dilakukan proses *smelting* menggunakan *electric arc furnace* dengan temperatur masukan 800 °C. Proses ini bertujuan untuk mereduksi bijih menjadi *ferronikel*dan juga untuk memisahkannya dari *slag* yang terdiri dari SiO_2, MgO, FeO *slag*, dan 0,1-0,2% Ni. Proses ini terjadi pada temperatur 1550 °C. Hasil dari proses ini adalah *crude molten ferronikel*dengan kadar 30% Ni dan 70% Fe

serta memiliki temperatur 1450 °C. Selanjutnya *crude molten metal* masuk ke dalam proses *refining* dengan penambahan udara dan kalsium untuk menghilangkan S, P, C, Si, dan O. Proses terakhir adalah proses granulasi dengan menyiramnya dengan air agar menjadi butir-butir kecil *ferronikel*yang sudah dimurnikan ((Crundwell, Moats, Ramachandran, Robinson, & Davenport, 2011).

2.3.2 Ekstraksi dari Bijih Limonite

Bijih *limonite* sebagian besar terurai dengan asam sulfat panas pada temperatur sekitar 250°C dan tekanan sekitar 40 bar. Diagram skematis dari proses ini diberikan pada Gambar 2.4. Nikel dan kobal di *recovery* dari larutan ini dengan langkah-langkah berikut:

A. Pemurnian dengan pengendapan dan konsentrasi larutan dengan *redissolution;*
B. Pemisahan nikel dan kobalt dalam larutan sering dilakukan dengan ekstraksi pelarut; dan akhirnya
C. Reduksi hidrogen atau *electrowinning* dari larutan untuk menghasilkan 99,9% nikel murni dan kobalt.. Skema proses ekstraksi bijih *saprolite* dapat dilihat pada Gambar 2.4



Gambar 2. 4 Skema proses ekstraksi dari bijih *limonite* (Crundwell, Moats, Ramachandran, Robinson, & Davenport, 2011)

2.4 *Hydrometallurgy*

Hidrometalurgi, yang melibatkan penggunaan larutan berair untuk pemulihan logam dari bijih, konsentrat, dan bahan daur ulang atau residu, memainkan peran integral dalam mineral bernilai jutaan dolar. industri pengolahan. Ini melibatkan pemisahan selektif berbagai logam dalam larutan berdasarkan preferensi termodinamika, atau pemulihan logam dari larutan melalui proses reduksi elektro-kimia atau melalui kristalisasi garam. Ada banyak teknologi proses hidrometalurgi yang digunakan untuk memulihkan logam, seperti: aglomerasi; *Leaching*; ekstraksi pelarut / pertukaran ion; pemulihan logam; dan remediasi tailing / limbah. Proses hidrometalurgi adalah tahap dalam pemulihan logam tambang dan pemrosesan mineral baik itu *in situ Leaching* (di mana solusi dipompa melalui matriks batuan); *heap Leaching* (dari bijih yang dihancurkan); tangki / *Leaching* autoklaf (dari konsentrat / matte yang diperoleh dari pengapungan); *elektro-refining* (produk blister dari rute peleburan); dan pengolahan limbah tailing / terak dari proses yang disebutkan di atas. Rute hidrometalurgi modern untuk mengekstraksi logam dari bijihnya dihadapkan pada sejumlah masalah yang terkait dengan aspek kimia, geologi, dan teknik dari proses tersebut. terlibat. Masalah-masalah ini termasuk penurunan kadar bijih, variasi mineralogi di seluruh endapan dan lokasi geo-metalurgi dari lokasi bijih; yang akan mempengaruhi rute hidrometalurgi yang dipilih. Pengembangan teknologi untuk meningkatkan efisiensi energi, konsumsi air / sumber daya, dan remediasi limbah (terutama drainase asam-batuan) di seluruh rangkaian juga merupakan faktor penting untuk menjadi dipertimbangkan. Oleh karena itu, ada pengembangan berkelanjutan dari solusi-solusi baru untuk masalah-masalah yang ada ini pada skala dasar dan skala pilot plant dalam rangka mengimplementasikan kelestarian lingkungan. praktik dalam pemulihan logam mulia. (Bhargava, Pownceby, & Ram, 2016)

Hidrometalurgi menggunakan asam anorganik / organik yang kuat atau larutan berair kaustik untuk melarutkan dan

mengendapkan logam secara selektif. Proses ekstraksi hidrometalurgi tradisional termasuk *leaching* asam untuk memulihkan logam. HNO_3 / HCl / $HClO_4$ / H_2SO_4 digunakan untuk mengekstraksi Cu, Pb, Zn, dll. Aqua regia (AR) (Kaya, 2018)

Maka dari itu saat ini dibutuhkan proses untuk mengolah logam dari bijih sampingan (bijih *laterite* untuk nikel) yang memiliki struktur yang kompleks. Karena kompleksnya bentuk bijih sampingan tersebut, ekstraksi menggunakan proses pirometalurgi tidak lagi efisien karena membutuhkan banyak energi. Problem-problem tersebut dapat diatasi dengan menggunakan proses hidrometalurgi. Alasannya adalah luas dan fleksibilitas kemungkinan produksi logam dari larutan ke bentuk yang diinginkan. Metode hidrometalurgi memiliki beberapa keuntungan, yaitu biaya pengolahan yang rendah, *recovery* yang tinggi, proses pengolahan relatif mudah, investasi alat yang rendah sehingga memungkinkan percepatan proses produksi, dan proses pengolahan yang relatif lebih singkat. Penggunaan metode hidrometalurgi juga memiliki kelemahan, yaitu dibutuhkan reagen pereaksi yang cukup banyak dan kapasitas produksinya kecil. Sehingga diperlukan optimalisasi agar diperoleh hasil yang maksimal. Selain memiliki banyak sisi positif hidrometalurgi tidak dapat menjadi proses pengolahan utama dari bahan mentah primer menjadi logam nonferrous, karena besarnya biaya untuk mengolah limbah dari hasil ekstraksi logam tersebut. Perlu adanya proses lain untuk melengkapi proses hidrometalurgi. Reagen kimia yang digunakan untuk melarutkan logam juga mempunyai kemampuan yang berbeda untuk mengolah logam. Saat ini sangat banyak jenis pengolahan hidrometalurgi untuk mengolah logam nonferrous dari bahan mentah primernya. Itu juga yang menjadi alasan sedikitnya perusahaan yang bertahan dengan menggunakan proses hidrometalurgi. Namun begitu, riset mengenai proses hidrometalurgi untuk logam *nonferrous* masih begitu intens dan menjanjikan, karena ketersediaannya bijih sampingan dan lebih kompleksnya sumber primer, aspek lingkungan dari pirometalurgi dan hidrometalurg (Havlík, Hydrometallurgy : Principles and

applications, 2008) Perbandingan antara proses hidrometalurgi dan proses pirometalurgi bisa dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2. 4 Perbedaan proses hidrometalurgi dan pirometalurgi

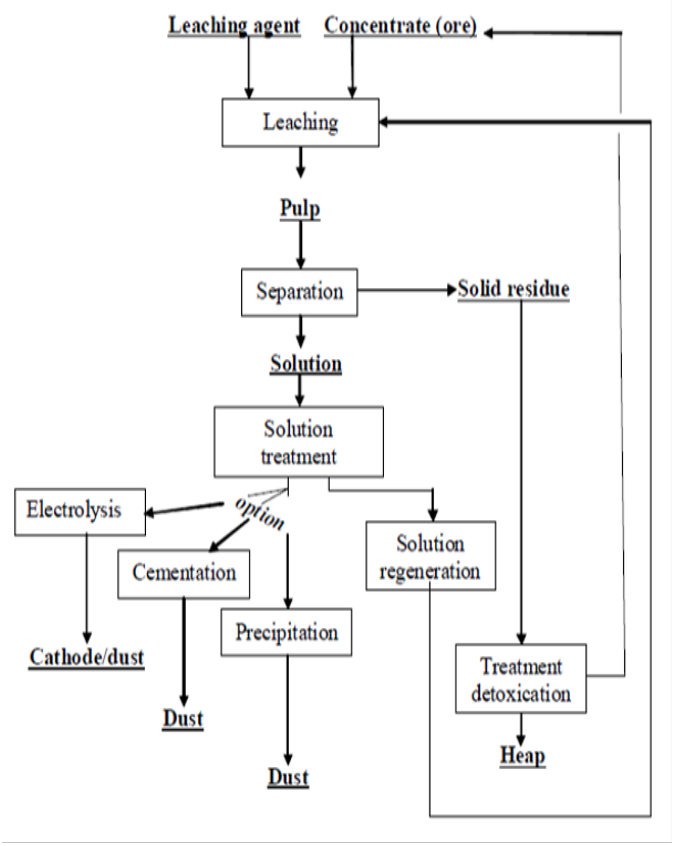
Proses	**Pirometalurgi**	**Hidrometalurgi**
Memproses bijih kaya	Lebih ekonomis	Kurang ekonomis
Memproses bijih sampingan	Tidak cocok dari segi energi	Cocok dengan selektif *Leaching*
Memproses bijih polikomponen	Sulit untuk memisahkan komponen – tidak cocok	Cocok, fleksibel, produksi produk sekunder
Proses ekonomis	Cocok untuk *plant* yang besar	Kapasitas produksi kecil; investasi lebih kecil
Memproses sumber sekunder	Tidak cocok pada mayoritas kasus	Cocok
Pemisahan komponen murni	Tidak mungkin	Mungkin
Memproses bijih sulfida	Menghasilkan polusi lingkungan dengan SO_2 yang mana harus diolah menjadi H_2SO_4 dengan konsentrasi rendah	Tidak terbentuk SO_2, memproduksi elemen S

Laju reaksi	Tinggi disebabkan oleh temperatur yang tinggi	Rendah disebabkan oleh temperatur yang rendah
Hasil material	Hasil unit sangat tinggi	Rendah, untuk produksi dengan volume sedikit
Pengendalian material	Sedikit susah dengan logam cair, *slag*, *matte*	Larutan dan larutan dapat dengan mudah disalurkan dengan pipa
Kontaminasi pada lingkungan	Problem dengan pembuangan, debu, bising	Tidak ada polusi atmosfer. Problem dengan buangan cairan yang mengalir
Solid residu	Jumlah residu yang banyak, dapat disimpan di dalam *dump*	Kebanyakan bagus, dapat mengontaminasi lingkungan
Gas beracun	Beberapa proses menghasilkan gas beracun	Gas dihasilkan hanya dalam jumlah yang kecil dan dapat dibersihkan
Biaya	Cocok untuk biaya yang tidak homogen	Sensitif terhadap perubahan biaya; secara umum biaya dalam bentuk homogen

Fitur produksi	Sedikit simpel; prosedur tidak rumit	Teknologi lebih canggih; kontrol dan regulasi lebih rumit

Perbandingan proses pirometalurgi dan hidrometalurgi menunjukkan bahwa pirometalurgi lebih berhasil dalam pengolahan bijih besar sulfida yang kaya di tungku poros karena sistem ini secara maksimal lebih ekonomis dari sudut pandang para ahli, muatan dingin turun dari atas dipanaskan oleh meningkatnya panas gas dari poros (Havlík, Hydrometallurgy : Principles and applications, 2008).

Hidrometalurgi memiliki dua proses utama, yaitu mengubah logam menjadi bentuk larutan (*leaching*), dan memisahkan logam yang diinginkan dari larutam logam (*separasion* atau *yield extraction*). Proses terpenting pada hidrometalurgi adalah proses *leaching*. Karena proses ini menentukan laju dan efisiensi perubahan logam menjadi larutan yang mempengaruhi sebagian besar parameter ekonomi dari seluruh proses. Efisiensi dari proses *leaching* harus ditentukan dengan mengkaji proses dari aspek termodinamikanya, yaitu mengidentifikasi agen apa saja yang berinteraksi bersama. Beberapa faktor yang mempengaruhi proses *leaching* antara lain temperatur selama proses *roasting*, konsetrasi reaktan, ukuran partikel sampel dan pH. Apabila kombinasi dari faktor-faktor tersebut tepat, maka proses *leaching* akan optimal (Pehlke , 1973). Langkah penting lainnya adalah menentukan kondisi kinetik dari proses, seperti durasi dan tipe kondisi yang terjadi pada reaksi reagen, dan mekanisme reaksi. Dari informasi di atas kita dapat melakukan dan mengoptimalkan proses produksi dengan hidrometalurgi. Bagan dari proses hidrometalurgi dapat dilihat pada Gambar 2.5



Gambar 2. 5 Bagan proses hidrometalurgi (Havlík, 2008)

Pada umumnya proses hidrometalurgi tergolong proses yang baru dan sangat banyak pengembangannya untuk ekstraksi nikel. Karena masih kurangnnya penggunaan dari hidrometalurgi yang diakibatkan karena limbahnya yang berbahaya bagi lingkungan menyebabkan hidrometalurgi cenderung untuk dihindari. Proses atau metode dalam hidrometalurgi di dunia terbagi menjadi

beberapa metode, yaitu *High Pressure Acid Leaching HPAL, Atmospheric Tank Leaching.* Proses HPAL membutuhkan bijih yang sebagian besar bersifat limonitik; memiliki kandungan Mg yang lebih rendah-biasanya terbatas pada <4% dan membutuhkan kadar Al yang lebih rendah. *Leaching* tekanan dilakukan baik di tangki pachuka (Moa Bay) atau autoclave berlapis titanium (semua tanaman modern). Meluluhkan temperatur bervariasi dalam kisaran 245-270 C. Pemisahan padat-cair dilakukan oleh *Counter-Current Decantation (CCD)*. Ada berbagai cara memurnikan larutan yang mengandung nikel dan memisahkan nikel dan kobalt. Dalam perushaan modern pemisahan seperti itu dilakukan dengan ekstraksi pelarut (SX). Produk akhir yang diproduksi adalah elektro-nikel, oksida nikel atau briket nikel. Beberapa perusashaan memproduksi bahan setengah jadi (campuran sulfida atau campuran hidroksida) yang dimurnikan di tempat lain. Kemudian *Leaching Tank Atmospheric* (AL) dimana saprolit atau limonit larut dalam tangki pada ketinggian temperatur tertentu tetapi berada pada tekanan atmosfer. Proses ini belum belum secara serius ditunjukkan dalam skala besar tetapi beberapa proyek sedang mempertimbangkan komersialisasi (Anne Oxley N. B., 2013). Sementara untuk larutan dari *Leaching* tersebut menggunakan beberapa macam larutan, yaitu *chlorine, ammonia, dan sulfuric acid. Leaching*.

2.4.1 *Leaching* menggunakan larutan asam klorida

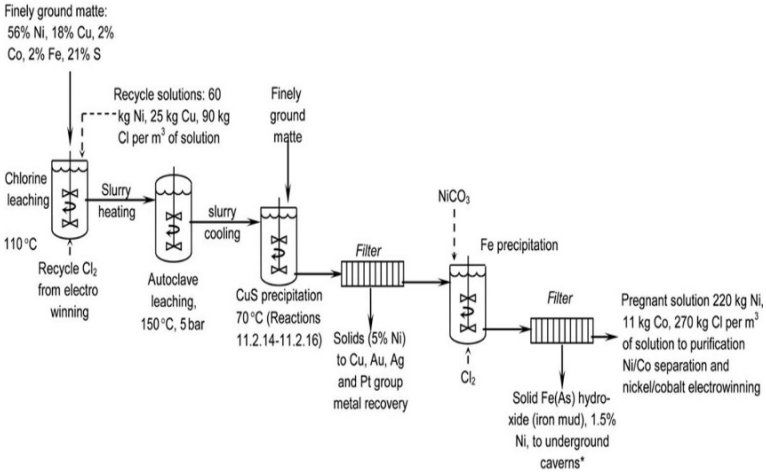
Asam klorida (HCl), yang dulu dikenal sebagai asam muriatic, adalah larutan gas hidrogen klorida yang merupakan pelarut yang banyak digunakan dalam proses *leaching* karena sifatnya yang tidak selektif dan dapat mengikat dengan kuat pada *leaching* logam / mineral. Ketika dilarutkan dalam air, klorin membentuk asam klorida dan asam hipoklorida yang kemudian secara bertahap terurai menjadi asam klorida dan oksigen. (Wang S. , 2007)

Media klorida sudah digunakan pada abad keenam belas pada penggabungan perak, contohnya tembaga klorida digunakan untuk

presipitasi perak sulfida pada tahun 1860, tahun tersebut bisa jadi dianggap sebagai tanggal awal hidrometalurgi. Selama sekitar 100 tahun berikutnya, metalurgi klorida hajarang digunakan dalam industri, terutama dalam ekstraksi nikel, kobalt dan tembaga dan hanya sebagai bagian khusus dari konvensional prosedur metalurgi. Selain menggunakan besi klorida, investigasi juga dilakukan terhadap kemungkinan penggunaan tembaga klorida untuk *leaching* sulfida tembaga. Salah satu yang utama Keuntungannya adalah bahwa ion tembaga bivalen dikurangi menjadi ion monovalen sehingga energi dapat dihemat (secara teoritis hingga 50%) dalam electrowinning tembaga dari larutan. Fakta ini dicatat dan sudah dipatenkan pada tahun 1893 oleh Hoepfner. Fakta bahwa tes pilot plant dilakukan hanya setelah periode waktu yang lama disebabkan oleh situasi yang menunjukkan bahwa elektrolisis dari klorida solusi adalah proses yang jauh lebih rumit dan sensitif daripada elektrolisis dari larutan sulfat. Selain itu, di sebagian besar abad terakhir proses dominan pada skala dunia adalah produksi tembaga pyrometalurgi, dan pemurnian dilakukan menggunakan elektrolisis dengan anoda terlarut. (Havlík, Hydrometallurgy Principles and Applications, 2008)

Proses ini memerlukan temperatur atmosfer kemudian dinaikkan sampai (150°C) dan bijih nikel akan di*Leaching* pada autoclave menggunakan gas klorin daur ulang, Ni^{2+} daur ulang, dan Cu^{2+} larutan klorida. Setelah meninggalkan autoclave, larutan didinginkan dengan cepat dan CuS diendapkan dengan penambahan terkontrol dari bijih nikel yang telah halus. Produk dari *Leaching* adalah: (1) larutan *Leaching* (220 kg Ni dan 11 kg Co / m3 larutan) yang berhubungan dengan presipitasi Fe, pemurnian larutan, pemisahan Ni / Co, dan electrowinning dari nikel dan kobalt dengan kemurnian tinggi. dan (2) endapan CuS yang dikirim ke pabrik tembaga / logam mulia untuk produksi

tembaga, asam sulfat, dan logam mulia. Proses dari *Leaching* menggunakan larutan klorin ditunjukkan pada Gambar 2.6`

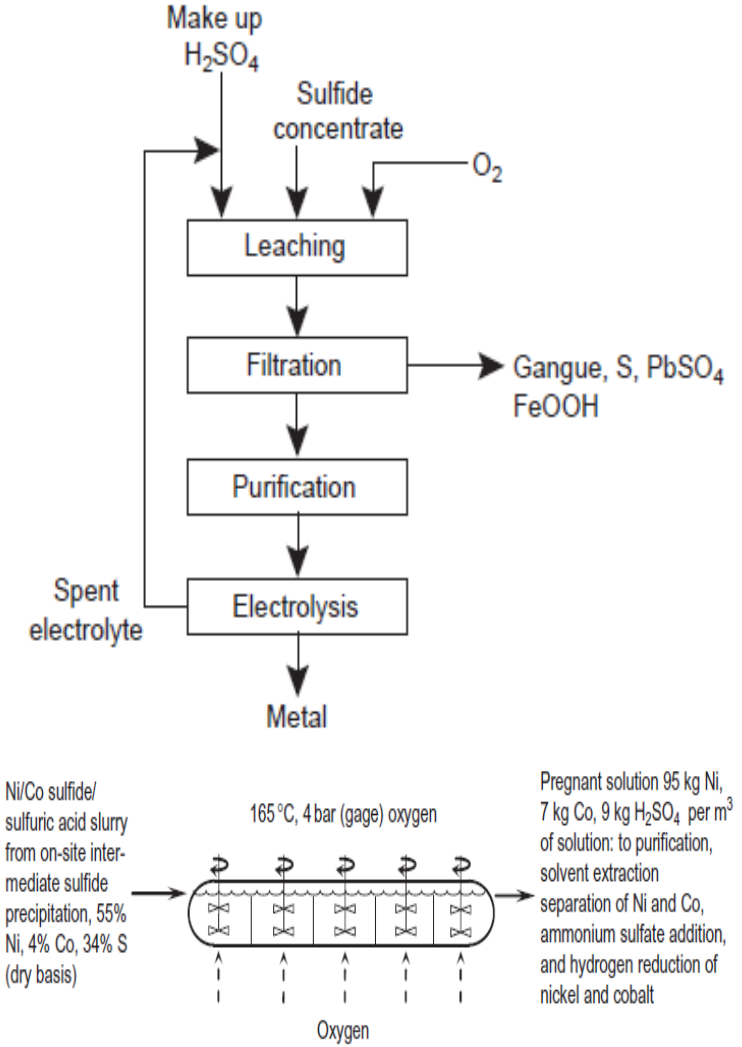


Gambar 2. 6 Skema *Leaching* nikel menggunakan larutan klorin (Michael S. Moats, 2014)

2.4.2 *Leaching* menggunakan larutan asam sulfat

Asam sulfat (H2SO4), yang dulu dikenal sebagai minyak vitriol, adalah asam mineral kuat yang larut dalam air di semua konsentrasi. Ini mungkin *lixiviant* yang paling banyak digunakan dengan agresivitas, harga, dan keterseidaan yang untuk menyeimbangkan nonselektivitasnya Asam sulfat digunakan baik encer, pekat atau dikombinasikan dengan oksigen.

Untuk *Leaching* oksigen – asam sulfat biasanya dilakukan untuk *flash furnace* dan *electric furnace*. Yang dihasilkan dari proses *Leaching* menggunakan oksigen – asam sulfat menghasilkan hampir mencapai Ekstraksi 98% Ni dan 99% Co, dan 99% total pelarutan padatan terjadi selama temperatur tinggi *Leaching* asam sulfat sulfida. Fe dan kotoran lainnya dihilangkan oleh netralisasi dengan larutan amonia berair dan sulfidasi (Michael S. Moats, 2014). Gambar 2.8 menunjukkan proses *Leaching* nikel menggunakan larutan asam sulfat.



Gambar 2. 7 Skema *Leaching* menggunakan larutan asam sulfat (Michael S. Moats, 2014) & (Habashi, A short history of hydrometallurgy, 2005)

2.4.3 Perbedaan *leaching* menggunakan larutan asam sulfat dan asam klorida

Leaching bijih teroksidasi dan bijih sulfida tergantung pada banyak parameter. Parameter yang berbeda bada pada pengolahan mineral adalah fakta bahwa setiap bijih berbeda. Penelitian mengenai *leaching* tidak dapat dirancang tanpa uji laboratorium dan uji coba bijih atau konsentrasi tertentu. *Lixiviant*s asam dari *leaching* industri terutama asam sulfat dan asam klorida. Kelebihan dan kekurangan asam ini disajikan pada Tabel 2.5.

Tabel 2. 5 Karakteristik khusus sulfur dan hidroklorik asam untuk proses *leaching* (Vignes, 2011)

Asam sulfat	Asam klorida
Lixiviant alami dari sulfida	*Lixiviant* yang kuat. Aktivitas proton meningkat seiring konten [Cl^-] yang lebih tinggi
Tekanan uap sangat rendah	Tekanan uap tinggi membutuhkan peralatan tertutup
Ion sulfat dapat dengan mudah dihilangkan dari larutan dengan pengendapan	Pemisahan logam dari larutan dengan ekstraksi pelarut (SX) difasilitasi oleh pembentukan kompleks ionik dengan stabilitas berbeda
Asam sedikit korosif untuk bahan reaktor	Asam yang sangat korosif
Electrowinning dari banyak logam dalam larutan sulfat digunakan secara industri dan menghasilkan gas oksigen	Electrowinning logam dalam larutan klorida tidak dilakukan karena pembentukan kloro yang kompleks

Dalam proses pelindian, asam klorida sebagai leachant lebih disukai karena relatif lebih mudah untuk memulihkan asam bebas yang berguna dari larutan limbah dan ekstraksi pelarut (SX) dalam media klorida daripada asam sulfat (Lakshamanan, Shirdar, Chen, & Halim, 2015).

Tabel 2. 6 Perbandingan *leaching* dengan larutan HCl dan H_2SO_4 (Mystrioti, Papassiopi, Xenidis, & Komnitsas, 2018) & (Listyarini, 2017)

Leaching dengan HCl	**Leaching dengan H_2SO_4**
Lebih dapat mengekstraksi unsur logam (Ni, Co, dan Fe)	Lebih lemah melarutkan unsur logam (Ni, Co, dan Fe) jika dibandingkan dengan HCl
Menghasilkan unsur Si atau quartz yang banyak pada residu	Menghasilkan unsur S pada residu dari adsorpsi anion SO4 dan sebagian terhadap presipitasi gipsum
Dalam konsentrasi yang rendah sedikit dapat mengekstraksi logam Ni	Dalam konsentrasi yang rendah menghasilkan ekstraksi logam Ni lebih banyak jika dibandingkan dengan HCl

Dalam proses *Leaching* hasil akhir dari proses tersebut adalah perhitungan *yield*. *Yield* adalah perbandingan massa produk yang kita dapat dibagi dengan massa produk secara teori. Rumus *yield* (UCYILDIZ & GIRGIN, 2017) dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\%\ Yield = \frac{Kadar\ Ni\ dalam\ larutan\ X\ volume\ larutan}{kadar\ Ni\ dalam\ sampel; \times massa\ sampel\ Bijih} \text{ X } 100\ \% \quad \ldots\ldots\ldots (2.1)$$

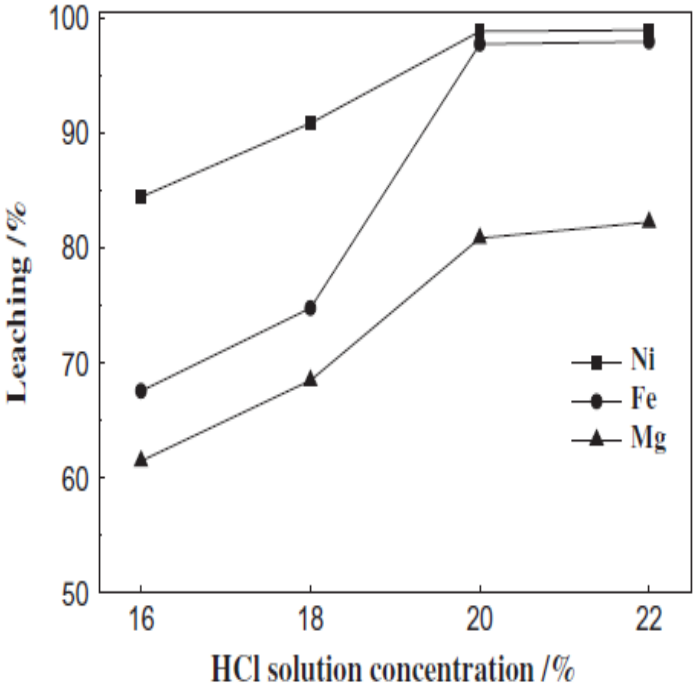
2.5 Data hasil *paper*

2.5.1 Data mengenai konsentrasi Asam

Tabel 2. 7 Hasil *leaching* pada sampel sechol (Harris & Magee, 2003)

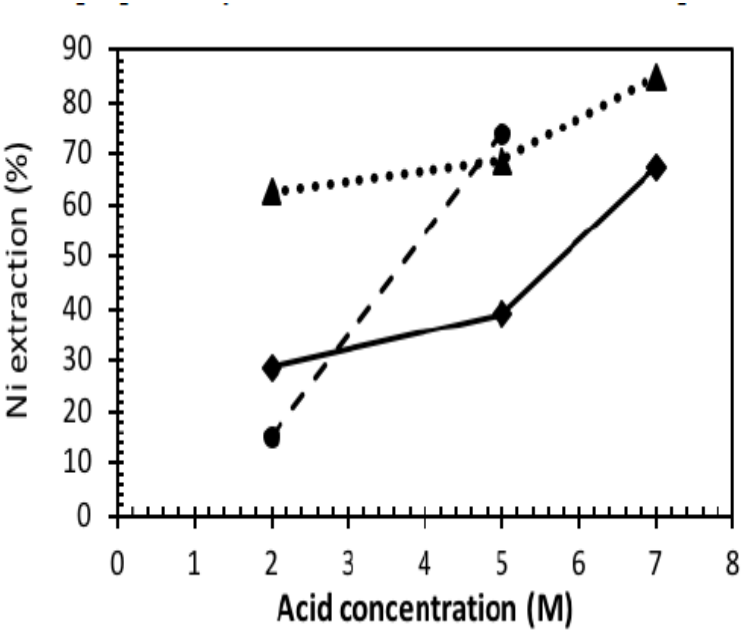
Kondisi *leaching*	Tipe	Kebutuhan Asam kg/t	Analisa Larutan g/L	Extraction %
			Ni	**Ni**
PAL, H_2SO_4 250°C, 2 jam	Limonite	500	**8,83**	**98,4**
	Saprolite	850	**4,1**	**99,3**
H_2SO_4,95°C, 2 jam	Limonite	236	**2,80**	**42**
	Saprolite	390	**4,91**	**72**
HCl (20%), 80°C, 3.5 jam	Limonite	285	**15**	**94,9**
	Saprolite	350	**13,1**	**94,1**

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Harris & Magee, 2003) pada Tabel 2.7, dilakukan 3 penelitian yaitu *leaching* dengan pressure acid *leaching* (PAL) dengan larutan asam sulfat selama 2 jam pada temperatur 250°C, metode kedua *leaching* dengan *atmospheric leaching* menggunakan asam sulfat selama 2 jam pada temperatur 95°C dan metode ketiga *leaching* dengan *atmospheric leaching* menggunakan asam klorida (20%) selama 3,5 jam pada temperatur 80°C. Hasil Ni terekstraksi terbanyak yang didapatkan antara *atmospheric leaching* dengan menggunakan larutan asam sulfat dan asam klorida adalah pada *atmospheric leaching* dengan menggunakan asam klorida.



Gambar 2. 8 Pengaruh konsentrasi HCl terhadap unsur Ni yang terekstraksi (Guo, et al., 2015).

Efek dari konsentrasi larutan HCl 16% sampai 22% pada *leaching* Ni bijih laterit saprolitik pada suhu *leaching* 80 C, rasio *liquid*/*solid* 3,5 mL / g dan waktu pelindian 60 menit didapatkan hasil seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8. *Leaching* Ni, meningkat pesat dengan peningkatan konsentrasi larutan HCl dari 16% berat menjadi 20% berat dan kemudian pada kosentrasi diatas 20% tidak terjadi kenaikan yang sigifikan dan cenderung datar. Hasil ini menunjukkan bahwa HCl konsentrasi larutan berpengaruh signifikan terhadap *leaching* Ni konsentrasi larutan HCl yang optimal adalah 20% berat.



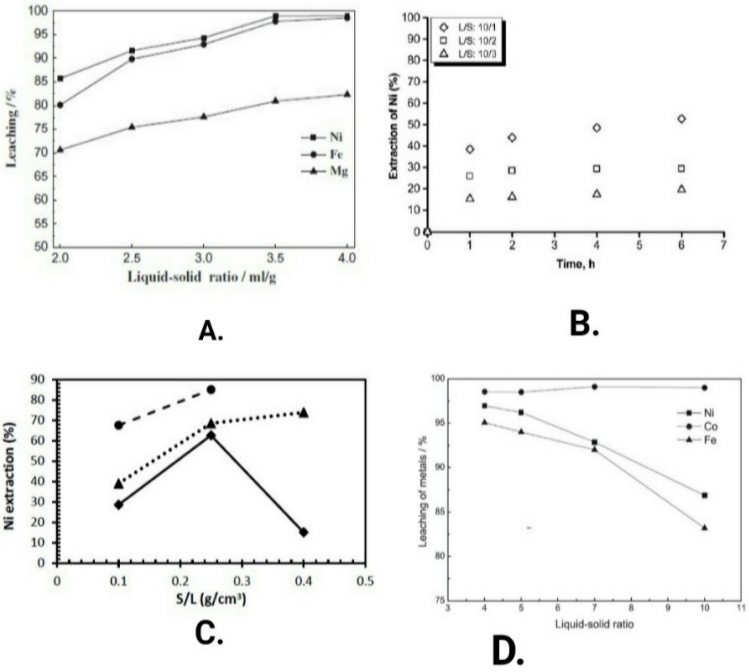
Gambar 2. 9 Pengaruh konsentrasi asam pada ekstraksi Ni untuk berbagai rasio S / L: ◆ 0,1, ▲ 0,25, ● 0,4 g / cm2. Kondisi operasi: 90 ºC, 120 menit, 0,1-0,4 g / cm3, 300 rpm (Javanshir, Mofrad, & Azargoon, 2018).

Efek konsentrasi H_2SO_4 pada penelitian yang dilakukan oleh (Javanshir, Mofrad, & Azargoon, 2018) pada ekstraksi Ni dilakukan pada temperatur 90°C selama dua jam. Rasio S / L diubah dari 0,1 menjadi 0,4 g / cm_3. Secara umum, peningkatan konsentrasi asam untuk *leaching* atmosfer meningkatkan ekstraksi logam dari bijih laterit (BÜYÜKAKINCI. & TOPKAYA, 2009) dan menyebabkan lebih banyak pelarutan nikel seperti pada Gambar 2.9. Oleh karena itu, dengan konsentrasi H_2SO_4 yang meningkat dari 2 menjadi 5 M, ekstraksi Ni meningkat dari 15 menjadi 68%. Perbandingan dari masing masing *paper* dapat dilihat pada Tabel 2.8.

Tabel 2. 8 Hasil Ekstrkasi Nikel Terbaik dari masing masing *paper* dengan variasi konsentrasi asam

Larutan	Temperatur	**Konsentrasi asam**	Waktu	*Liquid/solid*	*Paper*	**Ekstraksi Ni (%)**
HCl	80°C	**6,5 M**	1 jam	3,5	Guo(2015)	**99**
H_2SO_4	90°C	**7 M**	2 jam	4	Javanshir (2018)	**85**

2.5.2 Data mengenai rasio *Liquid/Solid*



Gambar 2. 10 Perbandingan *leaching* dengan parameter rasio *liquid/solid* pada larutan asam sulfat dan larutan asam klorida pada berbagai literatur : A. HCL, B.H_2SO_4,C.H_2SO_4, D.HCL

Pada literatur A, penelitian yang dilakukan oleh (Guo, et al., 2015) yaitu perbandingan *liquid*/*solid* dari 2,0-4,0 mL / g pada *leaching* Ni dari bijih laterit pada konsentrasi larutan HCl 20% berat, temperatur *leaching* 80 C dan *leaching* waktu 60 menit. Gambar 2.10 menunjukkan bahwa peningkatan rasio cair-padatan juga meningkatkan *leaching* Ni, pada rasio cair-padatan mencapai 3,5 mL / g; pada rasio ini, *leaching* dipertahankan. Hasil ini dapat dikaitkan dengan fakta bahwa meningkatkan rasio *liquid*/*solid* juga meningkatkan luasnya kontak antara reaktan. Rasio *liquids/solid*

optimal adalah 3,5 mL / g, dan didapatkan hampir mendekati 100% Ni yang terekstraks dari sampel bijih nikel laterit.

Pada Gambar B, merupakan penelitan yang dilakukan oleh (Kursunoglu & Kaya, 2016) yaitu Efek *rasio liquid/solid* terhadap ekstraksi nikel, kobalt dan besi dievaluasi pada 10/1, 10/2 dan 10/3 (v / w) pada 90 ° C dengan 0,5 M asam sulfat pada Gambar 2.10. Ukuran partikel dan kecepatan pengadukan dipertahankan konstan pada -0,053 mm dan 500 rpm masing-masing. Ekstraksi nikel, meningkat dengan meningkatnya rasio *liquid*-to-*solid* dan didapatkan ekstraksi nikel, terbesar pada 10/1 sebesar 55,4% setelah 6 jam. Pada 10/3, semua ekstraksi nikel menurun menjadi 17,2%, penurunan tersebut dapat dijelaskan oleh dua alasan berikut: (1) sejumlah besar silika dalam sampel nijih nikel laterit menciptakan lapisan difusi pada permukaan partikel sehingga menghambat proses *leaching* (Littlejohn, 2007), (2) perilaku *leaching* yang lebih lambat dari fase refraktori mineral seperti hematit dan goetit (MacCarthy, Addai-Mensah, & Nosrati, 2014).

Pada gambar C, merupakan penelitian yang dilakukan oleh (Javanshir, Mofrad, & Azargoon, 2018) yaitu Efek *solid*/*liquid* pada ekstraksi Ni terlihat pada Gambar 2.10 dengan kondisi operasi: 90 ºC, 120 menit, 2, 5, 7 M H_2SO_4, dan 300 rpm. Ketika rasio S / L meningkat, ekstraksi dinaikkan ke tingkat maksimum. Dalam penelitian ini, ekstraksi Ni meningkat untuk konsentrasi 7M H_2SO_4 mengalami kenaikan yang signifikan hal tersebut sesuai dengan teori semakin tinggi konsentrasi, maka semakin tinggi pula logam yang terekstrak (Bulut, 2006), pada konsentrasi 7 M terjadi kenaikan yang signifikan pada *solid*/*liquid* 0,1, sedangkan pada konsentrasi asam rendah (2 M), tidak mungkin untuk melarutkan nikel dari bijih laterit, dengan ekstraksi nikel yang berkurang tajam pada rasio S / L yang lebih tinggi (0,4 g / cm3) sehingga dibutuhkan konsentrasi yang lebih tinggi. Pada konsentrasi asam sulfat menengah mengalami kenaikan yang landai pada saat *solid*/*liquid* mencapai titik 0,25 sampai 0,4 hal itu bisa terjadi karena kurangnya kebutuhan konsentrasi untuk melarutkan nikel. Di bawah kondisi asam sulfat dengan konsentrasi tetap, semakin besar rasio *liquid* /

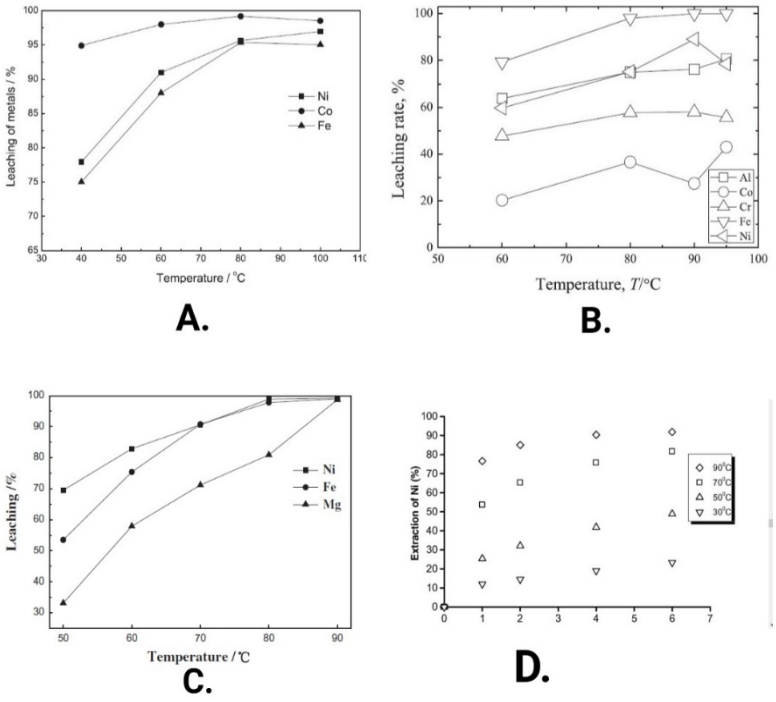
solid berarti lebih banyak ion hidrogen dalam larutan, yang mempercepat reaksi *leaching*. (Youcai, et al., 2014). Didapatkan nilai persen Ni yang terekstraksi sebesar 89% Ni pada *solid/liquid* sebesar 0,25 dan pada larutan asam sulfat dengan konsentrasi 7M, 75% pada *solid/liquid* 0,4 pada larutan asam sulfat dengan konsentrasi 5M, dan 60 % pada larutan 2M

Pada gambar D, penelitian yang dilakukan oleh (Wang, et al., 2012), yaitu Efek *liquid* / *solid* (massa *leaching agent*, termasuk HCl dan H_2O, terhadap laterit dikeringkan pada 100 ° C) pada *leaching* Ni pada100 ° C, dan 4 jam. Gambar 2.10 menunjukkan bahwa persentase *leaching* Ni menurun pada l / s yang lebih tinggi, terutama karena konsentrasi asam yang lebih rendah. Air dididihkan dalam tahap destilasi hidrolitik dan karenanya kebutuhan energi diminimalkan dengan menggunakan air sesedikit mungkin secara praktis. Tetapi l / s lebih kecil dari 4 akan membutuhkan asam klorida pekat (> 31%) sebagai bahan *leaching*, yang merupakan tantangan besar dalam praktik aktual dan regenerasi asam. Oleh karena itu, l / s = 4 menguntungkan, seperti yang ditunjukkan oleh 96,9% berat Ni. Perbandingan dari masing masing *paper* dapat dilihat pada Tabel 4.8

Tabel 2. 9 Hasil Ekstrkasi Nikel Terbaik dari masing masing *paper* dengan variasi rasio *liquid*/*solid*

Larutan	Temperatur	Konsentrasi asam	Waktu	**Rasio *Liquid/ Solid***	*Paper*	**Ekstraksi Ni (%)**
HCl	80°C	6,5 M	1 jam	**3,5**	Guo(2015)	**99**
HCl	100 °C	-	4 jam	**4**	Wang (2012)	**98**
H_2SO_4	90°C	0,5 M	6 jam	**10**	Kursunoglu (2016)	**55**
H_2SO_4	90°C	7 M	2 jam	**4**	Javanshir (2018)	**85**

2.5.3 Data mengenai temperatur



Gambar 2. 11 Perbandingan *leaching* dengan parameter temperatur pada larutan asam sulfat dan larutan asam klorida pada berbagai literatur : A. HCL, B.H_2SO_4, C.HCL, D.H_2SO_4

Penelitian pada gambar A merupakan penelitian yang dilakukan oleh (Wang, et al., 2012), yaitu Pengaruh temperatur pada *leaching* Ni dari laterit diselidiki pada a / o 1,25, l / s dari 4, dan *leaching* waktu 4 jam. Pada 40 ° C, *leaching* Ni mencapai 77,9%.%, pada Gambar 2.11 menunjukkan ekstraksi Ni pada berbagai temperatur. Persentase *leaching* Ni meningkat secara signifikan ketika temperatur meningkat dari 40 ° C menjadi 80 ° C, tetapi mendatar setelah itu. Pada 60°C sampai 80°C terjadi

kenaikan yang cukup signifikan pada temperatur 60°C didapatkan Ni sebesar 90% dan pada 80°C didapatkan Ni sebesar 88 % Mengingat bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan dalam diamati antara 80 dan 100 ° C dan didapatkan nilai sebesar 96% Ni yang terekstraksi, temperatur yang lebih rendah dianggap lebih menguntungkan dan digunakan dalam percobaan selanjutnya untuk meminimalkan konsumsi energi dan penguapan asam

Pada gambar B, penelitian yang dilakukan oleh (Altansukh, Haga, & Shibayama, 2014) menjelaskan bahwa pengaruh Pengaruh temperatur pada perilaku *leaching* logam dari sampel bijih laterit diselidiki pada konsentrasi awal asam sulfat 2 mol / L, kepadatan pulp 100 g / L, kecepatan pengadukan 500 rpm dan waktu *leaching* 2 jam dengan berbagai temperatur mulai dari 60 ° C hingga 95 ° C. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.11, hasil percobaan menunjukkan bahwa tingkat *leaching* logam meningkat dengan meningkatnya temperatur. Laju *leaching* tertinggi dari nikel (90% Ni) sebagai logam target diamati pada 90 ° C dan 95 ° C, masing-masing.

Pada gambar C, penelitian yang dilakukan oleh (Guo, et al., 2015) menjelaskan bahwa efek temperatur *leaching* 50-90 C pada *leaching* Ni dari bijih laterit pada larutan HCl konsentrasi 20% berat, rasio cair-padatan 3,5 mL / g dan *leaching* waktu 60 menit diselidiki seperti yang ditunjukkan pada Gambar.2.11, l*eaching* Ni meningkat pada 50-80°C dan dipertahankan padar kisaran temperatur 50 -80°C. Hasil ini menunjukkan bahwa tinggi temperatur memberikan lingkungan yang kondusif untuk ekstraksi. Di Singkatnya, temperatur *leaching* optimal adalah 80°C dan didapatkan Ni yang terekstraksi sebesar 99% atau mendekati 100 %

Pada gambar D, penelitian yang dilakukan oleh (Kursunoglu & Kaya, 2016) menjelaskan efek penambahan temperatur terhadap laju *leaching* logam Ni, kurva *leaching* nikel pada temperatur yang berbeda ditunjukkan pada Gambar 2.11. Kondisi berikut diterapkan pada studi efek temperatur yaitu: ukuran partikel −0.053 mm, rasio *liquids/solid* 10/1 (v / w), 2 M asam sulfat, dan kecepatan

pengadukan konstan 500 rpm. Peningkatan temperatur secara positif mempengaruhi ekstraksi nikel. Ekstraksi meningkat dengan temperatur, dan *leaching* nikel lebih efektif pada temperatur di bawah 90 ° C. Hal ini disebabkan oleh kandungan Ni yang lebih rendah dalam hematit daripada goethite. Sebanyak 23,3% nikel pada 30 ° C setelah 6 jam *leaching*. Sebagai perbandingan, ekstraksi meningkat secara nyata menjadi 91,9% untuk nikel pada 90 ° C setelah *leaching* 6 jam.

Tabel 2. 10 Ekstraksi logam (%) dari bijih laterit setelah 6 jam *leaching* dengan HCl dan H_2SO_4 (Mystrioti, Papassiopi, Xenidis, & Komnitsas, 2018)

Type of acid	Normality	Temperatur (℃)	l/s ratio	Ekstraksi Ni (%)
HCl	2	80	0,1	83,2
	2	90	0,1	98,3
H_2SO_4	2	80	0,1	65,9
	2	90	0,1	71,3

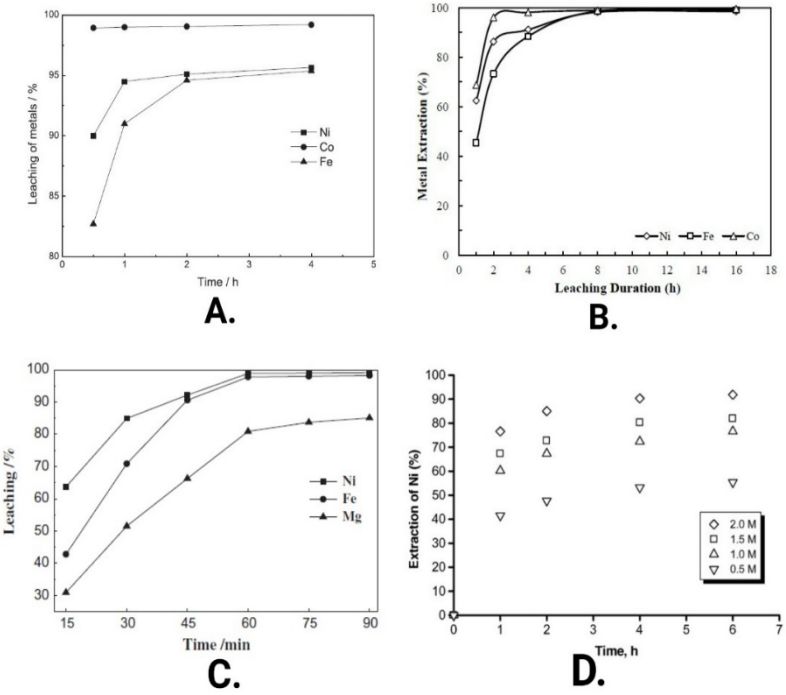
Pada penelitian yang dilakukan oleh Mystrioti dkk tahun 2018 yang disajikan pada Tabel 2.10. Ekstraksi Ni maksimum yang dicapai dengan HCl, yang diperoleh pada suhu 90°C, masing-masing sekitar 98,3% , sementara hanya 71,3% yang dicapai. dengan penggunaan H_2SO_4. Dalam percobaan yang dilakukan dengan HCl, peningkatan suhu dari 80 hingga 90 ° C meningkatkan ekstraksi logam Ni lebih dari 10%. Dalam leaching dengan menggunakan larutan H_2SO_4 peningkatan suhu hanya memiliki sedikit efek pada ekstraksi Ni dengan kenaikan ekstraksi Ni sebesar 5 %.

Perbandingan dari masing masing *paper* dapat dilihat pada Tabel 2.11

Tabel 2. 11 Hasil Ekstrkasi Nikel Terbaik dari masing masing *paper* dengan variasi temperatur

Laru tan	**Temper atur**	Konsen trasi asam	Wa ktu	*Liquid/ solid*	*Paper*	**Ekstr aksi Ni (%)**
HCl	**90℃**	6,5 M	1 jam	3,5	Guo(20 15)	**99**
HCl	**80 ℃**	-	4 jam	4	Wang (2012)	**98**
HCl	**90℃**	-	6 jam	0,1	Mystri oti (2018)	**98,3**
H_2SO_4	**90℃**	2 M	6 jam	10	Kursun oglu (2016)	**91,9**
H_2SO_4	**95℃**	2 M	2 jam	-	Altansu kh (2014)	**90**
H_2SO_4	**90℃**	-	6 jam	0,1	Mystri oti (2018)	**71,3**

2.5.4 Data mengenai Waktu *leaching*



Gambar 2. 12 Perbandingan *leaching* dengan parameter waktu pada larutan asam sulfat dan larutan asam klorida pada berbagai literatur : A. HCL, B.H_2SO_4, C.HCL, D.H_2SO_4

Pada gambar A, merupakan penelitian yang dilakukan oleh (Wang, et al., 2012) yaitu efek waktu pada *leaching* Ni dari laterit diselidiki pada a / o 1,25, l / s 4, dan temperatur *leaching* 80 ° C. *Leaching* Ni mencapai 90,0% dalam 0,5 jam pertama, ditunjukkan pada Gambar 2.12 , pada 0,5 jam pertama menunjukkan kinetika *leaching* asam yang terjadi begitu cepat. Konten Fe (II) yang tinggi menyebabkan Eh rendah dan kecepatan *leaching* cepat yang sebanding dengan *leaching* reduktif proses (Senanayake, Childs,

Akerstrom, & Pugaev , 2011). Hasil yang didapatkan untuk kondisi *leaching* optimal untuk laterit limonitik ini sebagaimana ditentukan dari percobaan *leaching* HCl pada tekanan atmosfer adalah sebagai berikut: a / o 1,25, l / s sebesar 4, temperatur 80 ° C, dan waktu *leaching* 2 h. *leaching* Ni dalam kondisi ini adalah 95,1%.

Pada gambar B, merupakan penelitian yang dilakukan oleh (Basturkcu & Acarkan, 2015) yaitu percobaan dilakukan pada berbagai waktu *leaching* pada 1, 2, 4, 8, dan 16 jam untuk menyelidiki efek waktu *leaching* pada ekstraksi logam. Semua percobaan dilakukan dengan 200 g / dm^3 konsentrasi H_2SO_4, –74 µm ukuran partikel pada rasio padatan 10% dan temperatur 80°C. Hasil percobaan yang diberikan pada Gambar 2.12 menunjukkan bahwa peningkatan waktu *leaching* memiliki efek positif pada nikel. Setelah 8 jam waktu *leaching*, hampir semua logam diekstraksi. Dengan durasi *leaching* yang lebih lama lebih dari 8 jam, tren linier diamati. Pada akhirnya, ekstraksi Ni sebesar 98% diperoleh dengan 200 g / dm^3 konsentrasi H_2SO_4 pada rasio 10% padatan, kecepatan agitasi 500 rpm, dan 80°C selama 8 jam lamanya *leaching*. Dapat disimpulkan bahwa kandungan besi dalam sampel laterit mempengaruhi konsumsi asam sedangkan bijih limonitik memiliki kebutuhan asam yang lebih tinggi di bawah kondisi atmosfer. Pada akhirnya, ekstraksi Ni 98.2% diperoleh dengan 200 g / dm3 konsentrasi H2SO4 pada rasio 10% padatan, kecepatan agitasi 500 rpm, dan 80°C selama 8 jam lamanya *leaching*.

Pada gambar C, merupakan penelitian yang dilakukan oleh (Guo, et al., 2015) yaitu efek dari 15-90 menit waktu *leaching* pada Ni dari bijih laterit pada konsentrasi larutan HCl 20 wt%, temperatur *leaching* 80°C dan rasio *liquids/solid* 3,5 mL / g diselidiki sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.12. *leaching* Ni meningkat pesat pada tahap awal proses *leaching* dan dipertahankan sampai 60 menit, kemudian pada waktu *leaching* diatas 60 menit kenaikan tidak terlalu signifikan dan cenderung melandai. *Leaching* maksimum Ni mencapai 99% pada waktu *leaching* 60 menit. *Leaching* maksimum Hasil ini menunjukkan

bahwa waktu *leaching* selama 60 menit sangat menguntungkan untuk *leaching* Ni dari bijih nikel laterit.

Pada gambar D, merupakan penelitian yang dilakukan oleh (Kursunoglu & Kaya, 2016), Kurva *leaching* nikel pada temperatur yang berbeda ditunjukkan pada Gambar 2.12. Kondisi yang diterapkan pada studi efek temperatur: ukuran partikel -0,053 mm, 10/1 (v / w) l/s rasio, konsentrasi 2 M asam sulfat, dan kecepatan pengadukan konstan 500 rpm. Peningkatan temperatur, secara nyata mempengaruhi ekstraksi nikel. Ekstraksi meningkat dengan temperatur, dan nikel diekstraksi lebih efektif daripada besi terutama pada temperatur di bawah 90 ° C. Sebanyak 23,3% nikel, diekstraksi pada 30°C setelah 6 jam *leaching*. Sebagai perbandingan, ekstraksi meningkat secara nyata menjadi 91,9% untuk nikel pada 90 ° C setelah *leaching* selama 6 jam. Perbandingan dari masing masing *paper* dapat dilihat pada Tabel 2.12

Tabel 2. 12 Hasil Ekstrkasi Nikel Terbaik dari masing masing *paper* dengan variasi waktu *leaching*

Laru tan	Temper atur	Konsen trasi asam	**Wa ktu**	*Liquid/ solid*	*Paper*	**Ekstr aksi Ni (%)**
HCl	90°C	6,5 M	**90 men it**	3,5	Guo(20 15)	**99**
HCl	80 °C	-	**4 jam**	4	Wang (2012)	**95,1**
H_2SO_4	90°C	2 M	**6 jam**	10	Kursun oglu (2016)	**91,9**
H_2SO_4	80°C	5,5 M	**8 jam**	-	Basturk cu (2016)	**98,2**

2.6 Penelitian sebelumnya

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Solihin & Firdiyono, 2014) melakukan penelitian mengenai perilaku pelarutan logam nikel dan besi dari bijih nikel kadar rendah sulawesi tenggara. Material yang digunakan pada penelitan tersebut adalah Bijih nikel didatangkan dari areal penambangan Aneka Tambang Tbk. Pomalaa, Sulawesi Tenggara. Kemudian bijih tersebut diuji menggunakan XRF, dan hasil analisa X-Ray Fluorescence (XRF) menunjukkan bahwa bijih tersebut mengandung 1,3 % logam nikel, 30 % logam besi, 12,6 % logam magnesium, 1,3 % logam kromium, 0,33 % logam mangan, dan sisanya adalah unsur-unsur lain yang rata-rata memiliki kadar masing-masing di bawah 0,1 %. Setelah bijih laterit di uji menggunakkan XRF, dilakukan *leaching* dengan menggunakan media pelarutan asam sulfat. Proses *leaching* dilakukan dalam media gelas,10 gram bijih nikel kadar rendah dilarutkan ke dalam 200 ml larutan asam pada konsentrasi dan temperatur tertentu. Pulp hasil proses *leaching* disaring melalui kertas filter untuk memisahkan filtrate dari residunya. Filtrat kemudian dianalisa menggunakan AAS (*atomic absorption spectrometry*) sedangkan terhadap fasa padatan dilakukan analisa XRD (*X-ray diffraction*) dan SEM (*scanning electron microscopy*). Variabel yang digunakan dan diamati pada penelitan tersebut adalah jenis bijih, konsentrasi asam dan temperatur. Hasil dari penelitian tersebut didapatkan yaitu jenis bijih menentukan konsumsi asam pelarut, sementara kenaikan konsentrasi asam dan temperatur proses meningkatkan persen ekstraksi nikel dan besi secara signifikan. Pada konsentrasi asam sulfat 30 % dan temperature proses 90°C didapatkan persen ekstraksi nikel dan besi masingmasing 82 dan 100 %.

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Agacayak & Zedef, 2012) melakukan penelitian mengenai kinetika disolusi dari bijih nikel laterit dalam medium asam sulfat. Material yang digunakan pada penelitian tersebut adalah Sampel bijih nikel laterit diambil dari wilayah Karacam (Eskisehir) di Turki. Analisis unsur sampel bijih dilakukan dengan Atomic Absorption Spectrophotometer

(AAS). Pola XRD sampel bijih nikel laterit, analisis mineralogi sampel bijih nikel laterit, bijih logam utama adalah goethite, hematite dan Wustite. Gangue bijih terdiri dari mineral jenis retgersite, gaspeite, *kuarsa* dan clay. Metode yang digunakan adalah bejana gelas 1 L digunakan sebagai reaktor *leaching* yang dimasukkan ke dalam penangas air yang dikontrol suhu. Reaktor *leaching* ditutup oleh penutup karet selama percobaan. Suhu berkisar antara 40 hingga 96 ° C (± 0,2 ° C) dari larutan penapisan dalam reaktor disediakan oleh penangas air yang dikontrol secara termostatis. Cairan padat / rasio adalah 2,0% berat. Larutan *leaching* diaduk dengan model Heidolph RZR 2021 pengaduk mekanik dengan impeller berjajar teflon. Jumlah Ni terlarut dalam larutan *leaching* adalah ditentukan oleh model SensAA AAS. Air suling dan kelas reagen H_2SO_4 (merek Merck) digunakan untuk menyesuaikan konsentrasi larutan *leaching*. Hasil yang didapatkan adalah Efek dari kecepatan pengadukan pada persentase pelarutan nikel dari bijih nikel laterit diselidiki dalam larutan 0,5 M H2SO4 pada 60 °C dalam kisaran 100 hingga 600 rpm. Hasil yang didapat menunjukkan bahwa persentase disolusi nikel tidak tergantung pada kecepatan pengadukan. Oleh karena itu, 200 rpm dipilih sebagai kecepatan pengadukan paling optimal untuk memberikan stabilitas larutan *leaching* selama percobaan untuk menentukan efek dari parameter lain pada pembubaran Ni. Efek konsentrasi asam sulfat pada pembubaran nikel diselidiki dari 0,1 sampai 2,0 M pada suhu *leaching* 60°C. Hasil yang diberikan menunjukkan bahwa persentase nikel terlarut dari bijih nikel laterit meningkat dengan meningkatnya konsentrasi asam sulfat. Persentase disolusi nikel setelah *leaching* 240 menit pada konsentrasi asam sulfat 0,1 dan 2,0 M ditemukan masing-masing 23,8% dan 65,27%. Proses *leaching* dilakukan pada suhu mulai dari 40 hingga 96 ° C dengan larutan asam sulfat 2,0 M pada kecepatan pengadukan konstan 200 rpm. Efek suhu pada ekstraksi nikel dari bijih nikel laterit menunjukkan bahwa ekstraksi Ni meningkat dengan meningkatnya suhu. Sementara, ekstraksi Ni adalah 36,41% pada 40 ° C setelah 240 menit, itu meningkat menjadi 100% pada sekitar 80 ° C. Untuk

menentukan parameter *leaching* lainnya, 80 ° C dipilih sebagai suhu *leaching* optimal. Pemilihan 80 °C juga menguntungkan karena lebih rendah daripada titik didih larutan. Dengan cara ini proses *leaching* akan lebih ekonomis mencegah penguapan. Proses *leaching* dilakukan pada suhu mulai dari 40 hingga 96 ° C dengan larutan asam sulfat 2,0 M pada kecepatan pengadukan konstan 200 rpm. Efek suhu pada ekstraksi nikel dari bijih nikel laterit menunjukkan bahwa ekstraksi Ni meningkat dengan meningkatnya suhu. Sementara, ekstraksi Ni adalah 36,41% pada 40 ° C setelah 240 menit, itu meningkat menjadi 100% pada sekitar 80 ° C. Untuk menentukan parameter *leaching* lainnya, 80 ° C dipilih sebagai suhu *leaching* optimal. Pemilihan 80 ° C juga menguntungkan karena lebih rendah daripada titik didih larutan. Dengan cara ini proses *leaching* akan lebih ekonomis mencegah penguapan.

Penelitian yang dilakukan oleh (Mystrioti, Papassiopi, Xenidis, & Komnitsas, 2018) melakukan penelitian mengenai evaluasi komparatif *leaching* atmosfir asam sulfat dan asam klorida untuk bijih nikel laterit yunani. Material yang digunakan pada penelitian tersebut adalah laterit saprolitik dikumpulkan dari endapan Larco di daerah Kastoria, Yunani Utara, dan sampel limonitik dari Tambang Agios Ioannis di Yunani Tengah. Sampel (masing-masing 50 kg) untuk percobaan *leaching* dihomogenisasi, ditumbuk menggunakan penggilingan getaran selama 10 menit dan ukuran partikel yang bekerja sampel adalah −74 μm. Sampel laterit dilarutkan dengan aqua regia (AR) dan dianalisis dengan analisis AAS dan X-Ray Fluoresensi (XRF) menggunakan spektrometer XEPOS dengan perangkat lunak x-labpro. Sampel awal dan residu padatan *leaching* diperiksa menggunakan JEOL 6380LV Scanning Electron Microscope (SEM), ditambah dengan Energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS). Analisis XRD dilakukan dengan menggunakan difraktometer bubuk Bruker D8-Focus, dengan radiasi CuKα yang disaring nikel (λ = 1,5405 Å. Berdasarkan hasil analisis AR-AAS, laterit saprolitik mengandung nikel 0,88%, kobalt 0,06%, besi 22,42%, dan magnesium 7,58%. Limonitik laterit (LO) mengandung nikel 0,69%, kobalt 0,063%, besi

34,65%, dan magnesium 1,55%. Untuk sebagian besar elemen, termasuk Ni, Co dan Fe, ada kesepakatan yang masuk akal antara analisis XRF dan AR-AAS. Namun, AR-AAS dianggap lebih akurat dan semua perhitungan dalam paragraf berikut didasarkan pada set data ini. Analisis XRD menunjukkan bahwa bijih saprolitik terutama terdiri dari kuarsa, goethite, kalsit dan lizardite ($(Mg,Al)_3[(Si,Fe)_2O_5](OH)_4$), sedangkan pada bijih laterit limonitik mengandung kuarsa, hematit, goethite dan kalsit. Puncak nacrite dan clinochlorite juga terdeteksi dalam sampel ini. Hasil yang didapatkan pada percobaan tersebut adalah secara keseluruhan, hasil menunjukkan bahwa *leaching* laterit Yunani dengan HCI lebih efisien dibandingkan dengan H_2SO_4. HCl menghasilkan tingkat ekstraksi Ni dan Co yang tinggi dari kedua jenis laterit Yunani. Yaitu, ekstraksi Ni dan Co maksimum adalah 98 dan 97% dari saprolitik, dan 98,3 dan 87,6% dari bijih limonitik. Namun, penerapan proses tersebut, yaitu *leaching* asam klorida dalam kondisi atmosfer, tergantung pada banyak parameter lain yang terkait erat dengan kinerja semua operasi. Faktor-faktor penting adalah pengendalian ekstraksi Fe yang efisien, kemungkinan untuk menghasilkan produk sampingan yang dapat dijual, seperti MgO, MnO2 dll, dan akhirnya kemungkinan untuk regenerasi dan mendaur ulang HCl.

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Thubakgale , Mbaya, & Kabongo, 2013) mengenai sebuah studi *atmospheric leaching* asam dari *laterite* nikel Afrika Selatan. Untuk menyiapkan sampel percobaan *leaching*, ukuran partikel sampel dikurangi menjadi 100% lebih halus dari 50 µm. Asam sulfat dan asam klorida yang digunakan dalam penelitian ini adalah dari tingkat analitis. Hal yang dilakukan pertama yaitu ukuran partikel sampel bijih nikel harus dikurangi hingga 100% - 250 µm menggunakan *jaw crusher*. Analisis XRD menggunakan metode Rietveld menunjukkan bahwa sampel adalah magnesium silikat, dengan hanya 4,33% mineral yang mengandung nikel, yaitu lizardite [Mg_3 (Si_2O_5 $(OH)_4$]. Analisis XRF menunjukkan bahwa kandungan nikel dalam bijih di

bawah 0,1% Konten nikel dalam fraksi ukuran partikel yang berbeda adalah: 0,08% (-250µm), 0,02% (-106 + 75 µm), 0,03% (-75 + 45 lm) dan 0,06% (-45 µm). adalah 0,01%. Dalam sampel utama, kadar magnesium tinggi (18,72%) dan kadar besi lebih rendah (13,32%) menunjukkan bahwa bijih tersebut adalah *laterite* saprolitik. Setelah dilakukan penelitian didapatkan hasil yaitu *atmospheric leaching* dari nikel dan kobalt dari *laterite* dipengaruhi oleh ukuran partikel dan persen padatan. Tingkat *leaching* nikel dikendalikan secara difusi. Laju *leaching* kobalt dikontrol difusi pada 25°C tetapi reaksi kimia dikontrol pada 90°C.

Pada penelitian yang dilakukan (Li, Xiong, Chen , Ruixiang, & Yong , 2012) menjelaskan mengenai faktor - faktor yang mempengaruhi *leaching* bijih laterit dalam asam klorida. Material yang digunakan pada penelitian tersebut adalah Bijih yang diuji dalam penelitian ini berasal dari provinsi Yunnan di Cina. Analisis kimia bijih laterit kering dilakukan dengan analisis kimia, Inductively Coupled Plasma (ICP) dan X-Ray Fluorescence (XRF). Peralatan difraksi sinar-X yang terkomputerisasi (XRD, Rint-2000, Rigaku) menggunakan Cu K-alpha digunakan untuk mengidentifikasi komponen bijih mentah dari 5 ° hingga 85 ° utama, yang terbukti dari pola difraksi sinar-X yang ditunjukkan pada adalah lizardite (Mg_3Si_2 $(OH)_4O_5$), goethite (FeO (OH)), hematite (Fe_2O_3), magnetite (Fe_3O_4) dan kuarsa (SiO). Metode yang digunakan adalah 50 g bijih ditimbang dan digunakan untuk setiap tes. Percobaan *leaching* dilakukan dalam labu bulat berukuran 500 mL dengan 3 lubang yang ditempatkan pada suhu yang dikontrol dan magnetis bak air diaduk dilengkapi dengan termometer yang dikontrol secara digital (dalam ± 0,5 °C). Kondensor digunakan untuk menghindari kerugian penguapan selama proses *leaching*. Berbagai parameter seperti kecepatan pengadukan, konsentrasi asam klorida, waktu *leaching*, rasio padat

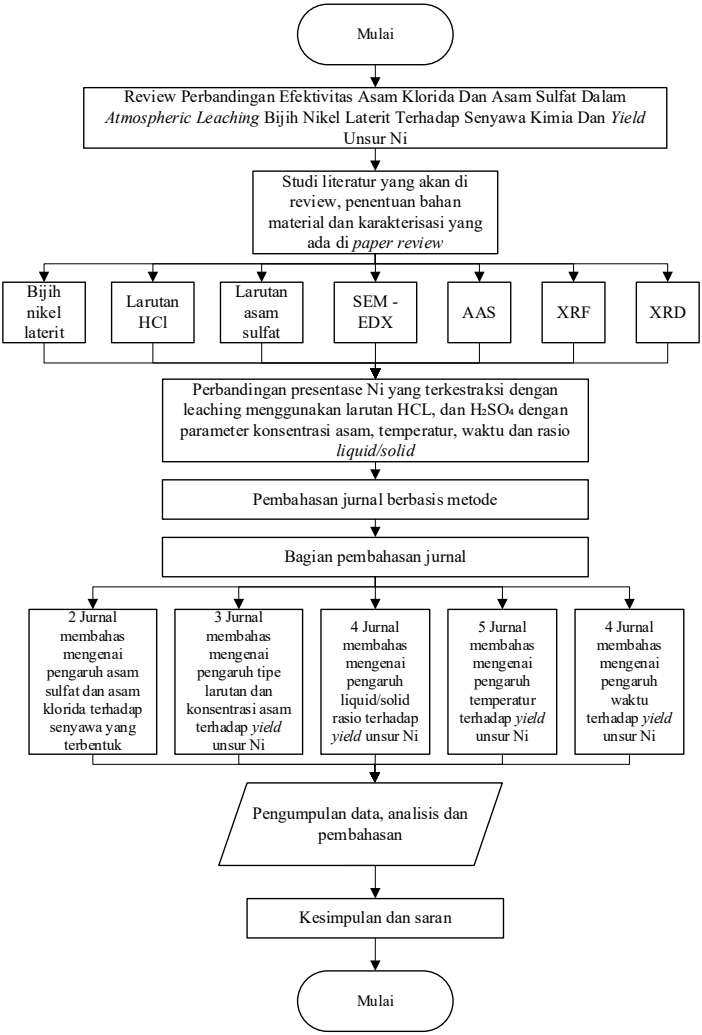
/ cair, suhu dan ukuran partikel diselidiki untuk mengoptimalkan pelindian kondisi. Asam klorida yang disiapkan sebagai larutan *leaching* dalam konsentrasi yang diinginkan ditempatkan ke dalam gelas kaca. Begitu suhu yang diinginkan tercapai, sampel bijih ditambahkan, terus diaduk dengan kecepatan konstan oleh magnet yang dilapisi Teflon pada bagian yang diinginkan dengan suhu untuk durasi yang diperlukan. Di akhir proses *leaching*, bijih terlarut disaring dan dicuci dengan air suling menggunakan *Büchner funnel*. Larutan hasil *leaching* dan air dikumpulkan dan dijaga agar tetap konstan volumenya dan kemudia dilakukan pengujian XRD.

.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III
METODOLOGI *REVIEW*

3.1 Diagram Alir



Gambar 3. 1 Diagram Alir *paper review*

3.2 Bahan penelitian pada *paper* yang di *review*

3.2.1 Bahan penelitian pada *leaching* menggunakan asam klorida

Pada metode *leaching* menggunakan larutan asam klorida, bahan yang digunakan adalah bijih nikel berkadar rendah yaitu limonite yang berasal dari Indonseia. Bijih nikel limonit pada awalnya dihancurkan terlebih dahulu menjadi bagian bagian yang lebih kecil menggunakan *jaw crusher*, kemudian disaring menggunaka *vib*rasio*n – milled* dengan ukuran – 200 mesh. Setelah dilakukan penyaringan bijih nikel kemudian dikeringkan menggunakan oven dengan temperatur 100°C semalaman sebelum diukur beratnya.

3.2.2 Bahan peneilitan pada *leaching* menggunakan asam sulfat

Pada metode *leaching* menggunakan larutan asam klorida, bahan yang digunakan adalah bjih nikel laterit yang disediakan oleh Pabrik Caldag di Turki. Ukuran partikel sampel bijih pertama kali dikurangi menjadi − 0,212 mm menggunakan *jawcrusher* laboratorium dan selanjutnya dihaluskan lagi menggunakan *ballmill*. Sekitar 25 kg sampel − 0,212 mm untuk *Leaching* atmosferik dengan coning dan quartering. Bijih nikel disaring kering menggunakan pelat saringan standar dan dipisahkan menjadi fraksi ukuran yang berbeda melalui getaran. Fraksi bijih ditimbang dan disimpan dalam kantong plastik untuk studi lebih lanjut.

3.3 Pengujian karakteriasasi material pada *paper* yang di *review*

Berikut merupakan karakterisasi material yang digunakan pada beberapa penelitian yang ada pada paper yang saya review :

3.3.1 XRD (X-*Ray Difraction)*

Pengujian XRD ini dilakukan untuk mengetahui senyawa yang terbentuk pada residu hasil dari proses *leaching*. Pengujian

XRD ini menggunakan alat XRD PAN Analytical yang berada di Laboratorium Karakterisasi Material di Departemen Teknik Material ITS. Alat XRD PAN bisa dilihat pada Gambar 3.20. Prinsip dari alat XRD *(X-ray diffraction)* adalah sinar X yang dihasilkan dari suatu logam tertentu memiliki panjang gelombang tertentu, sehingga dengan memfariasi besar sudut pantulan sehingga terjadi pantulan elastis yang dapat dideteksi. Sinar-X dihasilkan di suatu tabung sinar katode dengan pemanasan kawat pijar untuk menghasilkan elektron-elektron, kemudian elektron-elektron tersebut dipercepat terhadap suatu target dengan memberikan suatu voltase, dan menembak target dengan elektron. Ketika atom – atom mempunyai energi yang cukup untuk mengeluarkan elektron-elektron dalam target, maka karakteristik spektrum sinar-X dihasilkan. Maka menurut Hukum Bragg jarak antar bidang atom dapat dihitung dengan data difraksi yang dihasilkan pada besar sudut-sudut tertentu. Difraksi sinar-X terjadi pada hamburan elastis foton-foton sinar-X oleh atom dalam sebuah fasa. Setiap fasa menghasilkan pola difraksi yang unik. Hamburan monokromatis sinar-X dalam fasa tersebut memberikan interferensi yang konstruktif. Dasar dari penggunaan difraksi sinar-X untuk mempelajari kisi kristal berdasarkan persamaan Bragg. Hasil dari pengujian XRD adalah perhitungan parameter kisi, identifikasi fasa, struktur kristal, dan komposisi presentase fasa. Alat pengujian XRD bisa dilihat pada Gambar 3.2

Gambar 3. 2 Alat uji XRD

3.3.2 XRF (*X-Ray Flourencence)*

Analisis pada jurnal penelitian tersebut menggunakan XRF dengan tipe Philips PW-2404 X-ray fluorescence spectrometer (XRF).dilakukan berdasarkan identifikasi dan pencacahan karakteristik sinar-X yang terjadi dan dihasilkan dari peristiwa efekfotolistrik. Efekfotolistrik terjadi karena elektron dalam atom target (sampel) terkena berkas berenergi tinggi (radiasi gamma, sinar-X). Bila energi sinar tersebut lebih tinggi dari pada energi ikat elektron dalam orbit K, L, atau M atom target, maka elektron atom target akan keluar dari orbitnya. Dengan demikian atom target akan mengalami kekosongan elektron. Kekosongan elektron ini akan diisi oleh elektron dari orbital yang lebih luar diikuti pelepasan energi yang berupa sinar-X. Skematik proses identifikasi dengan

XRF tampak pada Gambar 3.3 Sinar-X yang dihasilkan merupakan gabungan spektrum sinambung dan spektrum berenergi tertentu (*discreet*) yang berasal bahan sasaran yang tertumbuk elektron. Jenis spektrum discreet yang terjadi tergantung pada perpindahan elektron yang terjadi dalam atom bahan. Spectrum ini dikenal dengan spektrum sinar-X karakteristik. Spektrometri XRF memanfaat-kan sinar-X yang dipancarkan oleh bahan yang selanjutnya ditangkap detektor untuk dianalisis kandungan unsur dalam bahan. Bahan yang dianalisis dapat berupa padat massif, pelet, maupun serbuk. Analisis unsur dilakukan secara kualitatif maupun kuantitatif. Analisis kualitatif menganalisis jenis unsur yang terkandung dalam bahan dan analisis kuantitatif
dilakukan untuk menentukan konsetrasi unsur dalam bahan. Sinar-X yang dihasilkan dari peristiwa seperti peristiwa tersebut diatas ditangkap oleh oleh detektor semi konduktor Silikon Litium (SiLi). (Munasir, Triwikantoro, Zainuri, & Darminto, 2012)

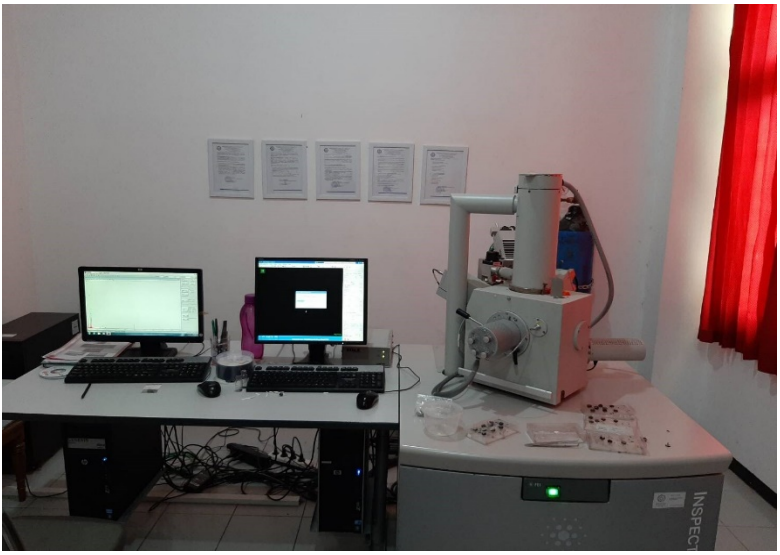
Gambar 3. 3 Alat uji XRF (http://central-laboratory.um.ac.id/xrf-x-ray-fluoresence-merk-panalytical-type-minipal-4.html)

3.3.3 SEM – EDX (*Energy-dispersive X-ray Spectroscopy dan Scanning electron Microscope)*

SEM terdiri dari sebuah senapan elektron yang memproduksi berkas elektron pada tegangan dipercepat sebesar 2 – 30 kV. Berkas elektron tersebut dilewatkan pada beberapa lensa elektromagnetik untuk menghasilkan image berukuran <~10nm pada sampel yang ditampilkan dalam bentuk film fotografi atau ke dalam tabung layar. [Trewin, 1988] yang disadur oleh (Anggraeni, 2008) menyatakan perbesaran SEM – EDX pembesarannya berkisar antara 20 kali sampai 500.000 kali. Sebelum melalui lensa elektromagnetik terakhir *scanning raster* mendeflesikan berkas elektron untuk men-*scan* permukaan sampel. Hasil scan ini tersinkronisasi dengan tabung sinar katoda dan gambar sampel akan tampak pada area yang di-*scan*. Tingkat kontras yang tampak pada tabung sinar katoda timbul karena hasil refleksi yang berbeda-beda dari sampel. Sewaktu berkas elektron menumbuk permukaan sampel sejumlah elektron direfleksikan sebagai *backscattered electron* (BSE) dan yang lain membebaskan energi rendah *secondary electron* (SE9). Emisi radiasi elektromagnetik dari sampel timbul pada panjang gelombang yang bervariasi tapi pada dasarnya panjang gelombang yang lebih menarik untuk digunakan adalah daerah panjang gelombang cahaya tampak (*cathodoluminescence*) dan sinar-X. Elektron-elektron BSE dan SE yang direfleksikan dan dipancarkan sampel dikumpulkan oleh sebuah *scintillator* yang memancarkan sebuah pulsa cahaya pada elektron yang datang. Cahaya yang dipancarkan kemudian diubah menjadi sinyal listrik dan diperbesar oleh *photomultiplier*. Setelah melalui proses pembesaran sinyal tersebut dikirim ke bagian *grid* tabung sinar katoda. *Scintillator* biasanya memiliki potensial positif sebesar 5 – 10 kV untuk mempercepat energi rendah yang dipancarkan elektron agar cukup untuk mengemisikan cahaya tampak ketika menumbuk

Pengujian EDX ini digunakan untuk mengetahui komposisi kimia yang dihasilkan dari residu hasil penyaringan dari proses *leaching*. EDX atau yang bisa disebut EDX merupakan alat

tambahan pada SEM yang digunakan untuk mengidentifikasi suatu unsur dan proporsi relatifnya. EDX menganalisa energi distribusi intensitas dari sebuah sinyal sinar x. Gambar Alat pengujian EDX bisa dilihat pada Gambar 3.4



Gambar 3. 4 Alat pengujian EDX

3.3.4 AAS (Atomic Absorption Spectroscopy)

Pengujian AAS diperlukan untuk mengetahui berapa kadar dis ari Fe, Ni, dan Co yang terdapat dalam larutan filtrat $NiSO_4.6H_2O$ saat sesudah di netralisasi dan sebelum di netralisasi. Pengujian AAS dilakukan di Laboratorium Teknologi Air dan Konsultasi Industri Departemen Teknik Kimia ITS. Metode AAS berprinsip pada absorbsi cahaya oleh atom. Pada awalnya atom yang tidak diberikan energi berada dalam keadaan stabil (Ground State), ketika diberikan energi, atom – atom akan berubah konfigurasinya dan menyebabkan menjadi tidak stabil (excited state). Atom-atom menyerap cahaya yang ditembakkan oleh

sumber cahaya dengan panjang gelombang tertentu, dan kemudian elekton yang terkena energi cahaya tersebut akan meninggalkan atom tergantung pada jenis unsurnya.. Detektor akan mengukur panjang gelombang yang ditransmisikan oleh spesimen dan membandingkannya dengan panjang gelombang yang sebelum melewati Dengan absorpsi energi, berarti memperoleh lebih banyak energi, suatu atom pada keadaan dasar dinaikan tingkat energinya ketingkat eksitasi. Hasil dari pengujian AAS adalah berupa grafik antara absorbansi vs konsentrasi. Keberhasilan analisis ini tergantung pada proses eksitasi(Beralih ke tingkat energi yang lebih tinggi) dan memperoleh garis resonansi yang tepat. Alat pengujian AAS bisa dilihat pada Gambar 3.5

3.4 Metode percobaan pada *paper* yang di *review*

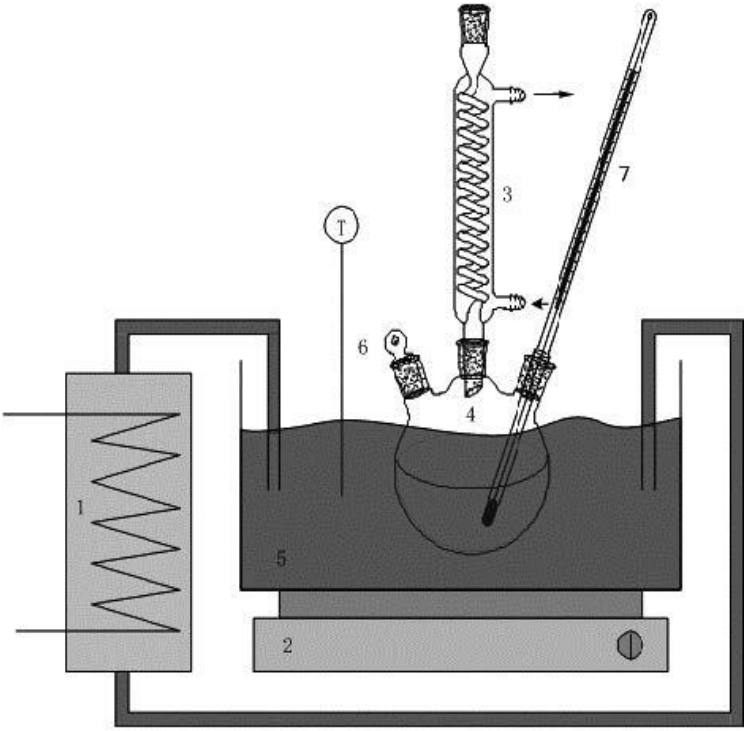
3.4.1 Metode percobaan pada *leaching* menggunakan asam klorida

Gambar 3. 5 Alat pengujian AAS

Langkah pertama adalah laterit harus dikeringkan dalam oven pada 100 ° C semalaman sebelum dilakukan pengukuran berat. Bijih ditambahkan ke dalam labu kaca berleher tiga dan kemudian dicampur dengan sejumlah HCl tertentu dari konsentrasi yang ditentukan. Labu tersebut ditempatkan dalam bak minyak yang dipanaskan dengan termometer merkuri dicelupkan ke dalam larutan untuk memonitor temperaturnya. Kondensor spiral digunakan untuk mencegah terjadinya kehilangan uap. Semua

campuran *Leaching* diaduk secara mekanis pada 400 r / menit menggunakan spatula yang telah dilapisi teflon untuk memastikan bahwa larutan tersebut cukup bercampur satu sama lain sketsa percobaan *leaching* dapat dilihat pada Gambar 3.6 Setelah *Leaching*, larutan tersebut kemudian disaring dalam corong Buchner dan dicuci dengan air deionisasi. Filtrat dan residu dikumpulkan secara terpisah dan dianalisis untuk menentukan persentase logam yang terekstraksi dari bijih nikel tersebut serta perilaku pelarutan mineral..

Sampel bijih dianalisa menggunakan XRD, SEM-EDS, dan juga AAS untuk mengetahui komposisi dan kandungan yang ada pada bijih sampel, Hasil dari *leaching* yaitu residu dilakukan analisa menggunakan XRD, yang kemudian dibandingkan dengan pola XRD pada sampel sebelum *leaching*.



Gambar 3. 6 Sketsa peralatan *leaching* (1. Bak pengontrol suhu dengan aliran eksternal, 2. Pengaduk magnetik, 3. Kondensor berpendingin air, 4. Labu berleher 3 dengan 3 lubang, 5. Bak air 6.Tempat untuk penambahan dan pengambilan sampel, 7. Termometer) (Li, Xu, Wang, Gao, & Yang , 2019)

3.4.2 Metode percobaan pada *leaching* menggunakan asam sulfat

Tes *Leaching* dilakukan dalam Pyrexwater 250 mL yang dilapisi reaktor dan dilengkapi dengan bak air sirkulasi yang dikendalikan temperatur dan tiga *blade* impeler baja-baja (berdiameter 35mm) digerakkan oleh pengaduk mekanis digital yang diletakkan diatas (Cole-Parmer). Kondensor kaca dipasang untuk meminimalkan penguapan. Pengaturan eksperimental ditampilkan pada Gambar 3.7. Untuk setiap percobaan *Leaching*, 100 mL asam sulfat pada konsentrasi yang ditentukan sebelumnya dipindahkan ke dalam reaktor, yang kemudian dipanaskan pada temperatur yang diinginkan sebelum menambahkan sampel bijih. Setelah periode waktu tertentu, pengaduk mekanik dan penadah air yang dikontrol temperatur keduanya dimatikan, dan reaktor dibiarkan dingin.

Gambar 3. 7 Pengaturan eksperimental [a: reaktor, b: pengaduk mekanis, c: kondensor gelas, d: kontrol temperatur, e: penadah air].

Larutan *Leaching* yang didinginkan kemudian disaring dan disiram beberapa kali dengan air deionisasi, dan semua solusi dikumpulkan untuk analisis selanjutnya. Sementara itu, residu *Leaching*dikeringkan dalam oven pada temperatur 100 ° C selama 2 jam, ditimbang dan dilarutkan dalam aqua regia panas sampai residunya menjadi putih. Analisis AAS dari cairan penapisan memberikan data untuk perhitungan neraca massa metalurgi. Beberapa percobaan *Leaching* digandakan untuk menilai reproduktifitas hasil percobaan.

3.5 Metode pembahasan pada *paper review*

Penilitian ini akan membahas mengenai pengaruh penggunaan larutan asam sulfat, dan asam klorida pada proses *leaching* bijih nikel laterit. Variabel yang digunakan adalah pengaruh asam sulfat dan asam klorida terhadap senyawa yang terbentuk, pengaruh tipe larutan dan konsentrasi larutan terhadap *yield* Ni, pengaruh *rasio liquid/solid* pada larutan asam sulfat, dan asam klorida, temperatur *leaching* pada larutan asam sulfat, amoniak dan asam klorida, dan waktu *leaching* pada larutan asam sulfar, amoniak, dan larutan asam klorida. Menggunakan 8 jurnal untuk dijadikan sebagai data sekunder.

Untuk membahas mengenai pengaruh larutan asm klorida dan asam sulfat terhadap senyawa yang terbentuk data diambil melalui 2 jurnal yang berbeda. Untuk membahas mengenai pengaruh tipe dan konsentrasi larutan data diambil melalui 2 jurnal yang berbeda. Untuk membahas mengenai pengaruh rasio *liquids/solid* terhadap *yield* Ni menggunakan larutan HCl dan H_2SO_4 data diambil melalui 4 jurnal yang berbeda. Untuk membahas mengenai pengaruh tipe dan konsentrasi larutan diambil melalui 2 jurnal yang berbeda. Untuk membahas mengenai pengaruh temperatur terhadap *yield* Ni menggunakan larutan HCl dan H_2SO_4 data diambil melalui 4 jurnal yang berbeda. Untuk membahas mengenai pengaruh waktu *leaching* terhadap *yield* Ni menggunakan larutan HCl dan H_2SO_4 data diambil melalui 4 jurnal yang berbeda

Data yang didapatkan dari jurnal kemudian dianalisa dan dibandingkan satu sama lain dengan menggunakaan teori maupun penelitian yang sudah pernah dilakukan mengenai *leaching* menggunakan kedua larutan tersebut. Dari hasil analisa dan perbandingan tersebut didapatkan % nikel yang terekstraksi paling banyak dari bijih laterit tersebut dengan parameter *rasio liquids/solid*, temperatur dan waktu *leaching* dari kedua larutan *leaching* tersebut, dan didapatkan kesimpulan manakah dari kedua metode *leaching* tersebut dengan larutan yang berbeda menghasilkan % nikel yang terekstraksi paling banyak.

Tabel 3. 1 *Paper* yang akan di *review*

Penulis	Nama Jurnal	Judul *Paper*
(Wang, et al., 2012)	*Hydrometallurgy*	*Characterization and atmospheric hydrochloric acid leaching of a limonitic laterite from Indonesia*
(Kursunoglu & Kaya, 2016)	*International Journal of Mineral Processing*	*Atmospheric pressure acid leaching of Caldag lateritic nickel ore*
(Altansukh, Haga, & Shibayama, 2014)	*Resources Processing*	*Recovery of Nickel and Cobalt from a Low Grade Laterite Ore*
(Basturkcu & Acarkan, 2015)	*Physicochemical Problems Of Mineral Processing*	*Leaching behavior Of a Turkish Lateritic Ore in The Presence Of Additives*
(Guo, et al., 2015)	*Minerals Engineering*	*Innovative technology for processing*

		saprolitic laterite ores By hydrochloric acid atmospheric pressure leaching
(Javanshir, Mofrad, & Azargoon, 2018)	*Physicochemical Problems of Mineral Processing*	*Atmospheric pressure leaching of nickel from a low-grade nickel-bearing ore*
(Harris & Magee, 2003)	*Hydrometallurgy*	*Atmospheric chloride leaching : The way Forward For Nickel Laterites*
(Mystrioti, Papassiopi, Xenidis, & Komnitsas, 2018)	*Extraction*	*Comparative Evaluation of Sulfuric and Hydrochloric Acid Atmospheric Leaching for the Treatment of Greek Low Grade Nickel Laterites*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV
ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Karakterisasi bahan penelitian pada *paper*

Pada penelitian ini dilakukan pengujian EDX, XRD,AAS dan juga SEM-EDX pada sampel bijih nikel laterit dan larutan filtrat hasil filtrat didapatkan pada konsentrasi, rasio *liquid*/*solid* rasio, temperatur dan waktu *leaching* yang berbeda

4.1.1 Karakterisasi sampel bijih nikel laterit sebelum *leaching*

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Wang, et al., 2012), sampel bijih nikel dianalisa dengan menggunakan Bijih laterit mentah dari Indonesia pertama kali dihancurkan dan dilakukan penyaringan pada ukuran partikel -200 mesh. Analisis komposisi kimia diindikasikan bahwa bijih ini adalah laterit limonitik dengan kadar nikel tingkat rendah yang khas, mengandung 0,82 wt.% Ni dan 49,92 wt.% Fe, ditunjukkan pada Tabel 4.1 yang merupakan komposisi kimia pada bijih nikel yang digunakan untuk proses *leaching* menggunakan asam klorida

Tabel 4. 1 Komposisi kimia sampel bijih nikel laterit (Wang, et al., 2012)

Elemen	Ni	Co	Fe	Cr	Mg	Mn	Al	Si
Kandungan (wt%)	0,82	0,078	49,92	2,15	1,22	0,45	3,77	2,96

Sementara bijih nikel laterit yang digunakan melalui penelitian yang dilakukan oleh (Kursunoglu & Kaya, 2016) disediakan oleh Pabrik Caldag di Turki. Ukuran partikel sampel bijih pertama kali dikurangi menjadi − 0,212mm menggunakan *jawcrusher* dan selanjutnya dihaluskan menggunakan ballmill. Sampel bijih nikel dengan ukuran partikel − 0,212 mm lebih, siap untuk dilakukan proses *leaching* . Bijih kemudian disaring kering menggunakan pelat saringan standar dan dipisahkan menjadi fraksi ukuran yang berbeda melalui ayakan. Tabel 4.2 menunjukkan komposisi kimia

dari fraksi ukuran berbeda dari bijih nikel laterit dianalisis pada Philips PW-2404 X-ray fluoresensi spektrometer (XRF). Tabel 4.2 merupakan komposis kimia dari sampel bijih nikel laterit yang digunakan untuk proses *leaching* menggunakan larutan asam sulfat

Tabel 4. 2 Komposisi kimia dari bijih nikel laterit dalam fraksi ukuran partikel yang berbeda oleh XRF (Kursunoglu & Kaya, 2016)

Ukuran Partikel (mm)	+150	-0,150 + 0,106	-0,106 + 0,075	-0,075 + 0,053	-0.053
MgO	2,14	3,01	3,37	4,17	4,59
Al_2O_3	2,02	1,95	2,01	2,53	2,54
SiO_2	57.9	53,0	51,1	48,8	45,1
SO_3	0,08	0.09	0,09	0,08	0,10
K_2O	0,24	0,27	0,27	0,29	0,30
CaO	2,59	2,91	2,99	3,10	3,41
TiO_2	0,08	0,06	0,09	0,13	0,09
Cr_2O_3	1.19	1,23	1,08	1,14	0,86
MnO	0,25	0,33	0,37	0,37	0,37
Fe_2O_3	25,3	28,2	28,5	29,1	31,69
Co_2O_3	-	0,09	0,09	0,10	0,09
NiO	0,92	1,14	1,23	1,28	1,45
LOI	6,99	7,73	8,11	8,58	9,39

Pada kedua tabel 4.1 dan 4.2. menunjukkan bahwa kedua sampel bijih nikel yang berbeda tersebut sama sama merupakan bijih nikel laterit yang memiliki kandungan nikel dengan *range* 1% dan kandungan paling banyak 3% nikel seperti yang ditulis oleh (Butt & Cluzel, 2013). Kandungan dari bijh nikel laterit yang sering diambil logamnya adalah Fe, Co dan Ni. Pada penelitian yang dilakukan oleh wang komposisi unsur dominan berada pada unsur Fe dengan kandungan sebesar 49% sedangkan pada penelitian yang dilakukan oleh kusunoglu dan kaya (2016)

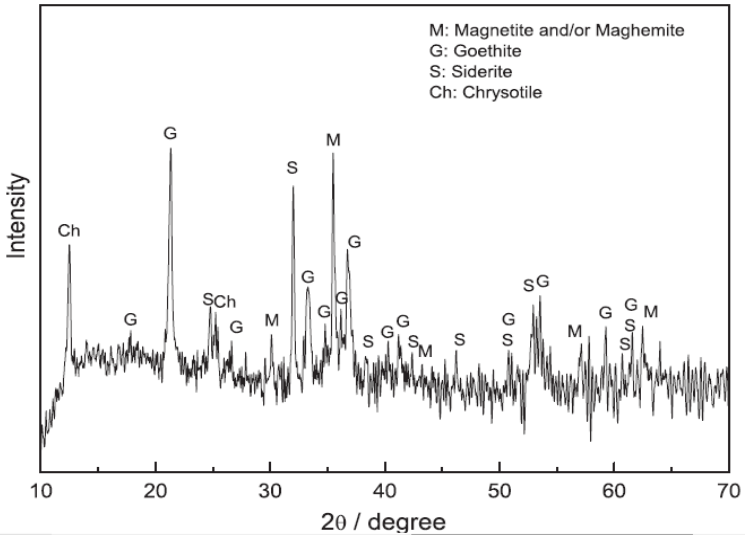
memiliki kadar Fe lebih seidikit yaitu sebesar 31,6% pada ukuran partikel 0,053 mm. Untuk unsur Co banyak didapatkan pada sampel penelitan yang dilakukan oleh (Kursunoglu & Kaya, 2016) lebih tinggi dibandingkan kadar Co pada penelitian yang dilakukan oleh Wang (2012). Hasil yang didapatkan dari kedua hasil tersebut bisa disimpulkan bahwa kandungan dalam bijih nikel kedua sampel sama sama memiliki komposisi yang hampir sama dengan kandungan bijih nikel laterit yang sesuai dengan teori yang ada. Karena setiap proses lateritasi tergantung pada iklim dan kondisi lingkungan dari setiap laterit itu berasal. Hal tersebut didasarkan oleh penelitian yang dilakukan oleh (Hasria, Anshari, & Rezky, 2019).

Tabel 4. 3 Karakteristik sampel bijih nikel kering yang telah disaring (Kursunoglu & Kaya, 2016)

Sampel no.	*Element*,wt %	+0,150	-0,150 + 0,106	-0,106 + 0,075	-0,075 + 0,053	-0,053
1	Ni	0,67	0,84	0,99	1,07	1,08
2	Ni	0,66	0,83	1	1,07	1,08
4	Ni	0,67	0,82	0,99	1,07	1,08
Average	**Ni**	**0,67**	**0,83**	**0,99**	**1,07**	**1,08**
1	Co	0,04	0,05	0,06	0,06	0,05
2	Co	0,04	0,05	0,06	0,06	0,05
3	Co	0,04	0,05	0,06	0,06	0,05
Average	**Co**	**0,04**	**0,05**	**0,06**	**0,06**	**0,05**
1	Fe	17,6	18,7	20,9	21,8	22,2
2	Fe	17,6	19	21,3	20,9	21
3	Fe	17,8	19,1	21,6	22,4	21,6
Average	**Fe**	**17,7**	**18,9**	**21,3**	**21,7**	**21,6**

Pada Tabel 4.3 merupakan kandungan % berat pada bijih nikel laterit yang digunakan sebelum dilakukan *leaching*. Analisa kandungan % berat tersebut didapatkan dengan menggunakan Thermo Scientific 3300 atomic absorption spectrophotometer (AAS). Hasil yang didapatkan dengan menggunakan 3 sampel percobaan yaitu rata – rata terbesar % berat Ni yang didapatkan pada bijih nikel laterit sebesar 1,08 % pada ukuran partikel – 0,053 sementara untuk unsur Fe, rata rata terbesar % berat dari sampel percobaan didapatkan pada ukuran partikel -0,075 + 0,053 sebesar 21,7 % dan untuk unsur Co didapatkan rata rata % berat terbesar pada ukuran partikel -0,106 +0,053 sebesar 0,06 %

Analisis XRD laterit dilakukan pada instrumen X'Pert PRO MPD (Cu Kα, arus 40 mA, tegangan 40 kV). Pola XRD laterit limonitik ditunjukkan pada Gambar.4.1, selain itu goethite dan chrysotile (sejenis serpentine), siderite ($FeCO_3$) juga dapat diamati dalam laterit limonitik ini.

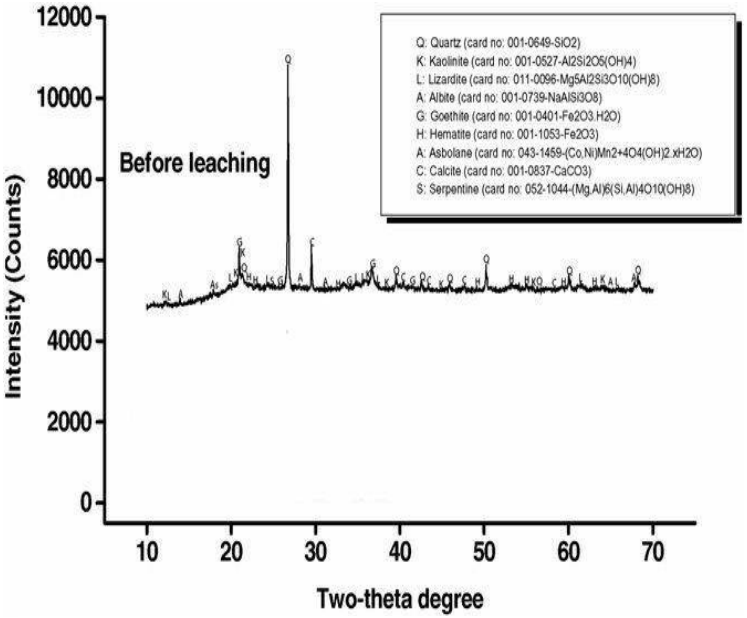


Gambar 4. 1 Pola XRD bijih laterit limonitic (Wang, et al., 2012)

Meskipun asam karbonat dalam air hujan telah disepakati sebagai faktor utama dalam laterisasi berdasarkan (Boldt dan Queneau, 1967) yang telah disadur oleh (Wang, et al., 2012), faktanya karbonat jarang terdeteksi di laterit (Mcdonald & Whittington, 2008a) dan juga menurut (Senanayake, Childs, Akerstrom, & Pugaev , 2011).

Karena nikel laterit memiliki kandungan unsur Fe yang cukup tinggi maka kemunculan siderite, magnetite dan maghemite merupakan hal yang pada umumnya didapatkan pada batuan yang mengandung besi (Fahruddin, Dwyana, & Soekendarsih, 2018). Kemunculan dari siderite di sini mendukung mekanisme laterisasi, dan bisa menunjukkan tahapan tertentu dari proses pelapukan batuan yang terjadi

Komposisi mineralogi bijih nikel laterit dengan ukuran partikel -0,053 mm diperiksa sebelum dan sesudah *Leaching* pada BrukerDX8 Advance (XRD) dengan Cu Kα1 (panjang gelombang 1,5406 Å) yang beroperasi pada 40 kV dan 30mA. Sudut difraksi XRD 2θ dikalibrasi menggunakan standar kalibrasi spasi 2θ / d. Selanjutnya, mineral diidentifikasi menggunakan perangkat lunak ICDD PDF-4

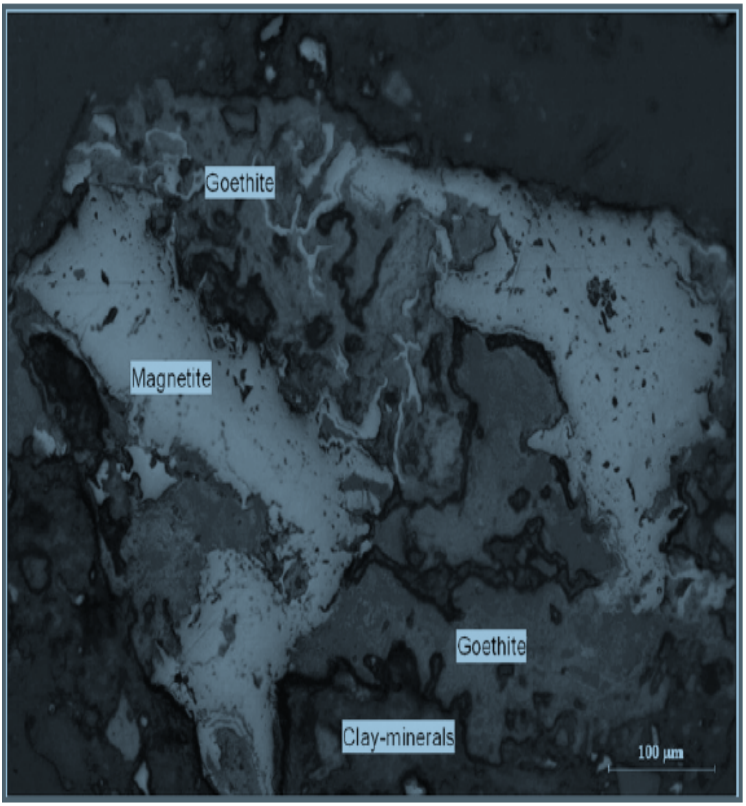


Gambar 4. 2 Pola XRD dari bijih nikel laterit − 0,053 mm sebelum *leaching* (Kursunoglu & Kaya, 2016)

Pola XRD pada Gambar 4.2 berisi puncak utama dari kuarsa (nomor kartu: 001-0649-SiO_2), kaolinit (nomor kartu: 001-0527-$Al_2Si_2O_5$ $(OH)_4$), dan kalsit (nomor kartu: 001-0837- $CaCO_3$). Goethite (no kartu: 001-0401-$Fe_2O_3.H_2O$), hematite (no kartu: 001-1053-Fe_2O_3), albite (no kartu: 001-0739-$NaAlSi_3O_8$), lizardite (no kartu: 011-0096-$Mg_5Al_2Si_3O_{10}$ $(OH)_8$), asbolane (no kartu: 043-1459-(Co, Ni)$Mn_2 + 4O_4$ $(OH)_2$ xH_2O) (fase kaya nikel dan kobalt) dan serpentin (no kartu: 052-1044 (Mg, Al)$_6$(Si,Al)$_4O_{10}$ $(OH)_8$) juga hadir dalam jumlah yang relatif kecil. Mineral utama adalah Al-smectite (beidellite) dan lizardite. Goethite dan hematite sangat banyak muncul dalam struktur bijih. Mineral utama nikel dan kobalt adalah asbolane sebagai bentuk (Co, Ni) 1 - y $(Mn^{+4},O_4)_2$ - $_x(OH)_2$ - $_2$y+ x nH2O) (Arslan et al., 2006; Helvaci et al., 2013) yang telah disadur oleh (Kursunoglu & Kaya, 2016), dan nikel

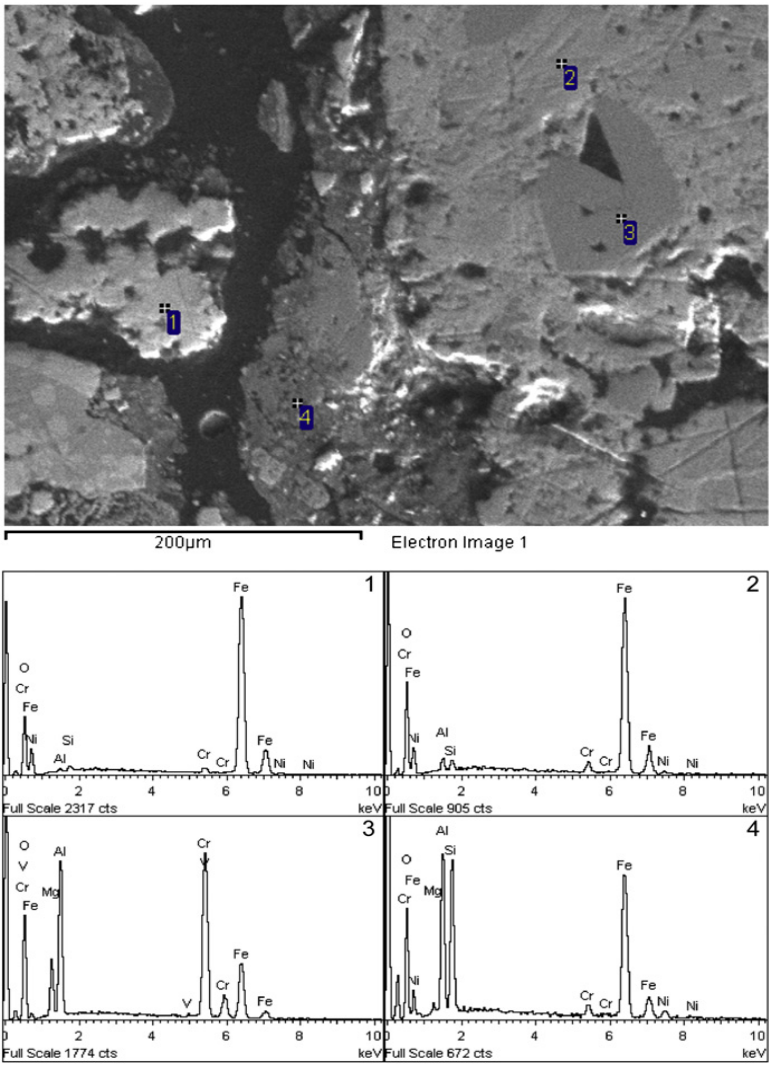
hadir dalam mineral goethite / hematite dan serpentine (Onal & Topkaya, 2014). Kelompok mineral penting yang ada dalam bijih laterit adalah garnierit, yang merupakan nama umum untuk semua mineral silikat nikel-magnesium silikat seperti klorit, tanah liat, dan serpentin silikat. Garnierit berhubungan dengan sifat butiran halus, susunan kristalnya yang buruk, dan khususnya yang terjadi sebagai campuran dari dua atau lebih komponen. Rupanya, komponen-komponen garnierit ini biasanya muncul sebagai lizardite, antigorit, chrysotile dan dengan persentase nikel yang tinggi sebagai nepouite pada serpentin, sedangkan vermiculite dan talk terbentuk sebagai tanah liat sedangkan clinochlore pada kelompok klorida (Bunjaku, Kekkone, & Holappa, 2010)

Mikroskopik optik dan analisis SEM / EDS dari laterit memastikan bahwa goethite, magnetite, serpentine, dan siderite adalah fase minimum utama. Mineral logam kecil seperti Cr-spinel, (Fe, Al) -spinel, dan hematit (Fe_2O_3) juga ditemukan. Mineral tanah liat dan jejak kuarsa (SiO_2) juga terdeteksi. Refleksi mikroskop optik menunjukkan bahwa goethite, magnetite, dan mineral lempung saling berkaitan pada Gambar 4.3



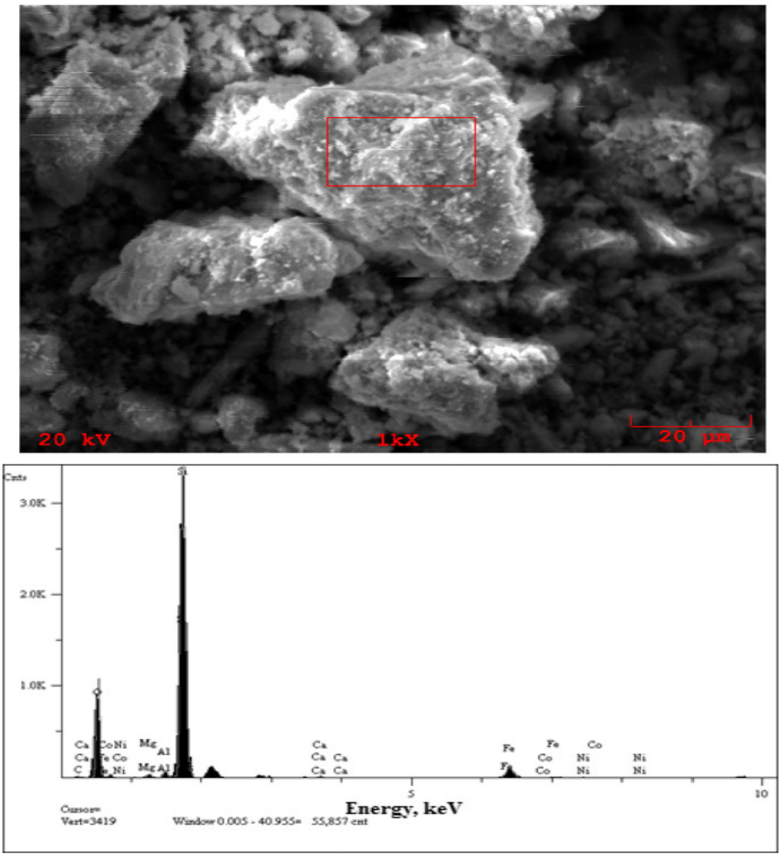
Gambar 4. 3 Gambar mikroskop optik laterit, di mana goethite, magnetite, dan mineral lempung saling terkait erat (Wang, et al., 2012).

Studi distribusi unsur menunjukkan bahwa Ni terutama tergabung dalam goethite (rata-rata 0,58% berat) dan magnetit (rata-rata 0,88% berat), dan jumlah yang lebih kecil ditemukan pada serpentin dan siderit. Hasil SEM / EDS khas pada Gambar 4.3 menunjukkan adanya goethite (mengandung Ni dan Cr), magnetite (mengandung Ni dan Cr), campuran tanah liat dan goethite, dan partikel kecil dari spinel mengandung Cr dan Al) yang tertanam dalam goethite .



Gambar 4. 4 Gambar mikroskop optik bijih nikel laterit, di mana goethite, magnetite terbentuk dan *clay* mineral saling terkait erat**.** (Wang, et al., 2012)

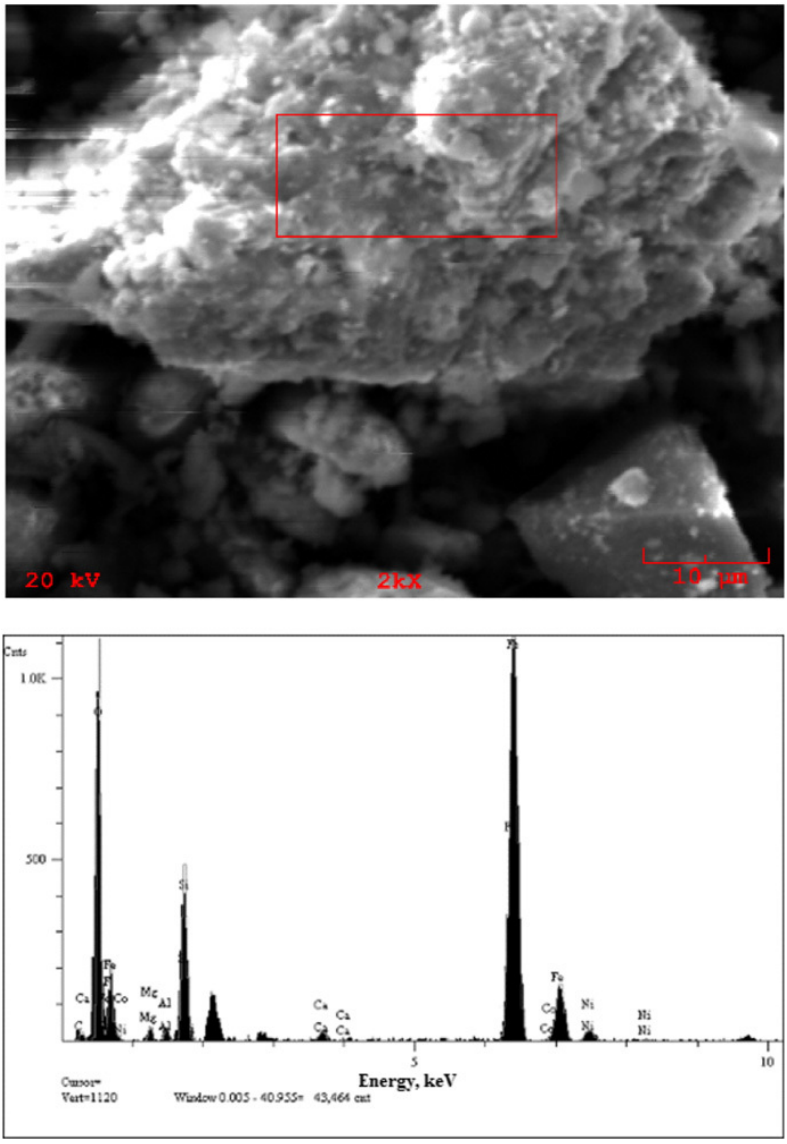
Untuk mengkonfirmasi data XRD pada gambar dan menyelidiki kemungkinan nikel dan mineral host kobalt sebelum *leaching* asam tekanan atmosfer, morfologi permukaan diperiksa dengan memindai mikroskop elektron (SEM) yang digabungkan dengan spektroskopi sinar-X (EDX) dispersif energi (Jeol JSM-5600 LV) .Perubahan pH dalam bubur lindi diukur dengan pH meter Hach 40d. Gambar 4.5 dan 4.6 merupakan hasil gambar dari SEM dan EDX



Gambar 4. 5 SEM – EDX menganalisis mineral seperti tanah liat [−0,053 mm ukuran partikel]. (Kursunoglu & Kaya, 2016)

Tabel 4. 4 Analisis unsur EDX untuk mineral seperti tanah liat [−0,053 mm ukuran partikel]. (Kursunoglu & Kaya, 2016)

Unsur	Line	Intensitas (c/s)	Error 2-sigma	Konsentrasi	Units	
C	Ka	10,8	2,08	3,09	wt%	
O	Ka	696	16,7	41,7	wt%	
Mg	Ka	35,9	3,79	0,64	wt%	
Al	Ka	60,6	4,92	0,93	wt%	
Si	Ka	3434	37,1	47,8	wt%	
Ca	Ka	18,8	2,74	0,34	wt%	
Fe	Ka	157	7,92	5,12	wt%	
Co	Ka	1,01	0,64	0,04	wt%	
Ni	Ka	7,84	1,77	0,34	wt%	
				100	wt%	Total



Gambar 4. 6 Analisis SEM – EDX mineral goethite / hematite [ukuran partikel-0.053mm] (Kursunoglu & Kaya, 2016)

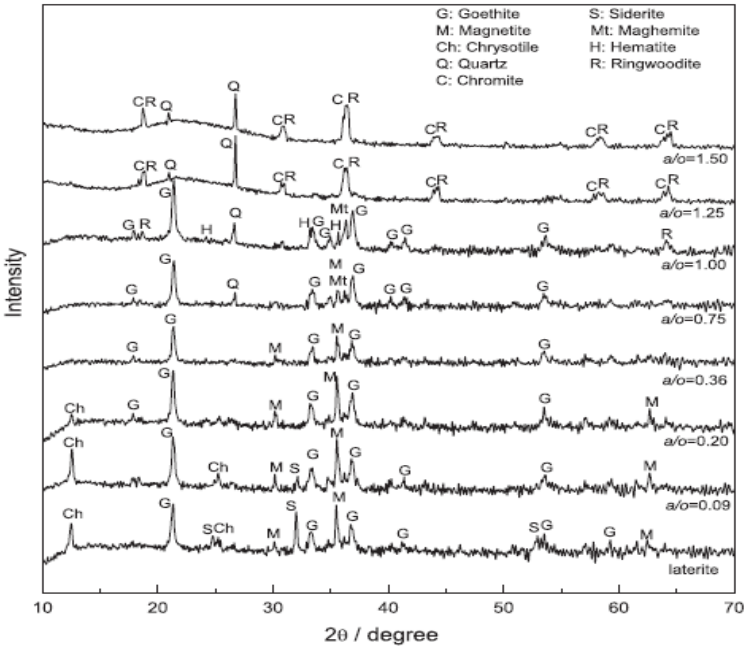
Tabel 4. 5 Analisis unsur EDX dari mineral goethite / hematite-like [-0,053 mm u kuran partikel]. (Kursunoglu & Kaya, 2016)

Unsur	Line	Intensitas(c/s)	Error 2-sigma	Konsentrasi	Unit	
C	Ka	17,9	2,68	2,23	wt%	
O	Ka	710	16,9	28,8	wt%	
F	Ka	46,73	4,32	2,42	wt%	
Mg	Ka	31,9	3,57	0,98	wt%	
Al	Ka	31,5	3,55	0,76	wt%	
Si	Ka	434	13,2	8,57	wt%	
Ca	Ka	33,5	3,67	0,54	wt%	
Fe	Ka	1683	25,9	53,2	wt%	
Co	Ka	6,16	1,57	0,23	wt%	
Ni	Ka	49,6	4,45	2,27	wt%	
				100	Wt %	Total

Gambar SEM-EDX yang dihasilkan dan konsentrasi unsur disajikan dalam Gambar 4.5 dan 4.6, dan pada Tabel 4.4 dan 4.5 menunjukkan 2,27% Ni dan 0,23% Co diinangi dalam fase mineral

seperti goethite / hematite. Fasa-mineral seperti tanah liat terdiri `dan 0,04% Co.

4.1.2 Karakterisasi sampel bijih nikel laterit sesudah *leaching*



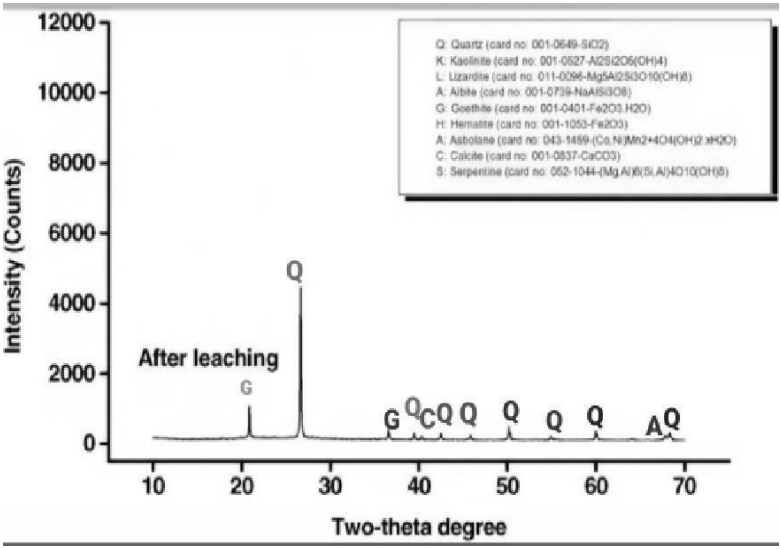
Gambar 4. 7 Pola XRD laterit dan residu *leaching* menggunakan asam klorida pada a / o yang berbeda (kondisi *leaching* lainnya: l / s = 4, 100 ° C, dan 4 jam). (Wang, et al., 2012)

Pola XRD dari residu *leaching* laterit pada penelitian yang dilakukan oleh wang pada tahun 2012 dengan a / o yang berbeda ditunjukkan pada Gambar 4.7. Siderite mudah larut oleh HCl, dan puncak fraksinya yang sepenuhnya hilang setelah *leaching* pada a / o = 0,20. Puncak perbedaan fraksi chrysotile diintensifkan dalam residu a / o = 0,09, menunjukkan peningkatan konten chrysotile. Peningkatan kandungan ini disebabkan oleh penurunan berat laterit

dalam *leaching* asam dan jumlah chrysotile yang tidak berubah. Ketika a / o mencapai 0,36, chrysotile benar-benar larut dan tidak ada puncak difraksinya yang dapat ditemukan pada resapan *leaching* pada gambar 4.7. Studi sebelumnya yang dilakukan oleh (Girgin, Obut, & Üçyildiz, 2011) dan (Liu, Chen, & Hu, 2009) menunjukkan bahwa Ni dalam fase tanah liat, seperti dalam smektit dan serpentin, agak mudah larut dalam *leaching* asam atmosferik laterit.

Puncak difraksi pada 2θ = 35,52 ° tidak melemah sampai a / o tercapai 0,36 pada Gambar 4.7 menunjukkan tingkat *leachability* magnetit. Fe (II) dalam residu dengan kondisi a / o = 0,09, 0,20, dan 0,36 masing-masing adalah 7,21% berat, 4,46% berat, dan 2,90% berat. Itu penurunan tajam kandungan Fe (II) menunjukkan pembubaran magnetit. Pembubaran magnetite mungkin dimulai ketika a / o mencapai 0,36, karena isi Fe (II) dekat dengan residu a / o = 0,36 dan a / o = 0,75. Residu laterit setelah *leaching* pada a / o = 1,00 masih magnet tetapi dengan minimal Fe (II), menunjukkan lengkap pembubaran magnetit dan pembubaran lebih lambat dari maghemite. Bagian magnetik (~ 5% berat) dari residu ini dikumpulkan setelah pemisahan tabung magnetik, dan selanjutnya dianalisis dengan XRD dan titrasi konten Fe (II), yang juga menyarankan agar mereka sebagian besar dari bahan magnet adalah maghemite. Pembubaran maghemite selesai dalam *leaching* atmosfer ketika a / o mencapai 1,25, seperti dibuktikan dengan hilangnya puncak difraksi pada 2θ = 35,52 ° dan hilangnya magnetisme dalam residu resapan. Difraksi puncak goethite disimpan secara konstan tinggi di residu ketika a / o di bawah 1,25 Gambar 4.7, mungkin karena perubahan konten goethite tidak besar dalam tahap *leaching* laterit ini. Karena itu, pembubaran Goethite mungkin terjadi di seluruh rentang dari a / o = 0,00 sampai a / o = 1,25 dalam *leaching* asam atmosferik limonitik laterit. Hematit muncul (2θ = 33,20 °) ketika sebagian besar laterit telah dibubarkan setelah *leaching* pada a / o = 1,00, dan menghilang lagi

ketika a / o mencapai 1,25 karena pembubarannya pada Gambar 4.7



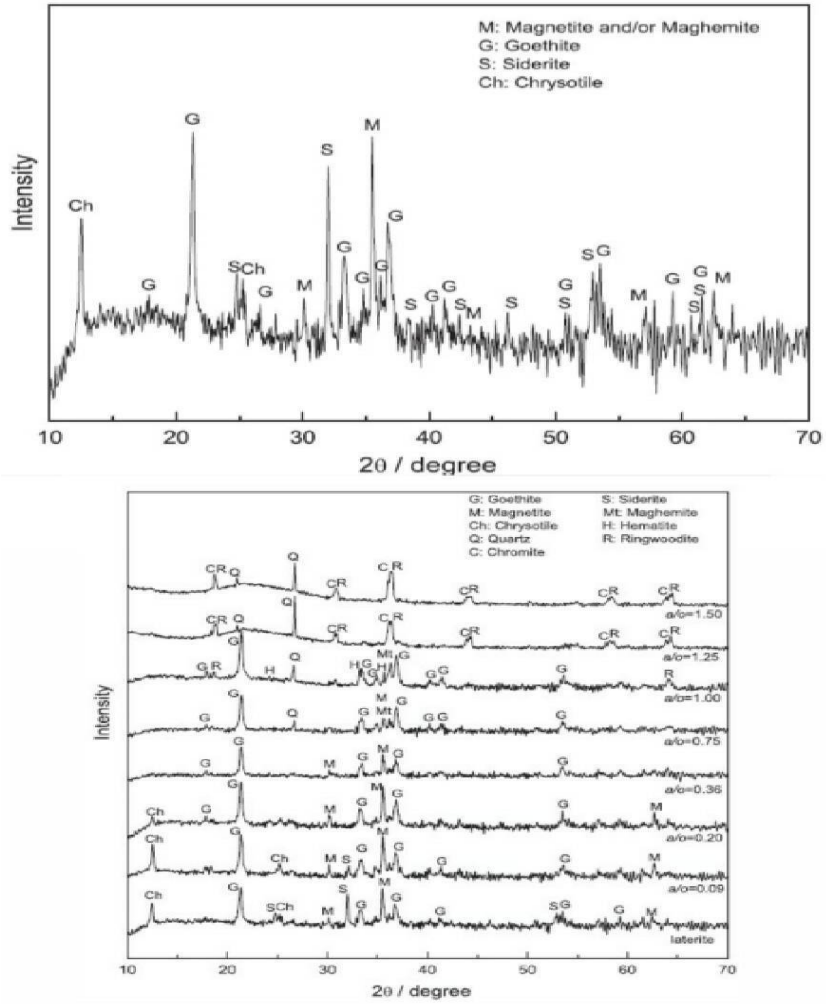
Gambar 4. 8 XRD filtrat hasil *leaching* menggunakan asam sulfat (Kursunoglu & Kaya, 2016)

Dari hasil *leaching* yang dilakukan oleh kursonoglu dan kaya tahun 2018 pola XRD yang tercipta memperlihatkan peak yang dominan yaitu *kuarsa* dan diikuti dengan peak peak kecil yaitu goethite, calcite dan peak kecil asbolann. Pada Gambar 4.2 peak peak kecil seperti hematite, kaolinite, dan hematite pada pola xrd hasil *leaching* sudah hilang hal tersebut dikarenakan senyawa terebut sudah putus dan berikatan dengan asam sulfat dan menjadi residu dalam proses *leaching* tersebut.

Pola XRD pada penelitian yang dilakukan oleh wang tahun 2012 menghasilkan peak dominan setelah *leaching* yaitu goethite dan *kuarsa*. *Kuarsa* tersebut merupakan unsur yang sulit terurai dalam suhu rendah, *kuarsa* baru dapat terpecah ketika pada suhu tinggi dan pada tekanan yang tinggi, oleh karena itu peak pada

penelitian yang dilakukan oleh wang dkk, memiliki peak *kuarsa* yang dominan, sedangkan untuk getohite merupakan mineral yang lebih sulit bereaksi dibandingkan magnetite, menurut asumsi saya peak goehtite yang ada pada hasil XRD hasil *leaching* dihasilkan dari tidak semua goethite bereaksi dengan asam sulfat karena asam sulfat lebih cepat bereaksi dengan magnetite dibandingkan goehtite, maka kebutuhan larutan asam harus dilebihkan jika ingin melarutkan semua goethite agar larutan asam sulfat tidak habis bereaksi terlebih dahulu untuk melarutkan geothite.

4.2 Pengaruh larutan asam klorida dan asam sulfat terhadap senyawa kimia saat proses *leaching*



Gambar 4. 9 Perbandingan Pola XRD sebelum dan sesudah *leaching* pada asam klorida

Pada dasarnya Laterite adalah batuan yang disebabkan pelapukan tropis lembab dan didominasi oleh mineral yang terdiri dari goethite, hematite, kaoline, kuarsa, bauksit dan mineral lempung lainnya (Haldar S. , 2013). Pada beberapa laterite kandungan tersebut bisa saja berubah karena faktor iklim, kelembapan dan juga laju pelapukan yang berbeda beda.

Pada gambar 4.9 Pola XRD pada penelitian yang dilakukan oleh wang dkk tahun 2012 menunjukkan bahwa sampel bijih nikel lateritnya memiliki beberapa kandungan mineral yaitu, Magnetite, goethite, siderite dan chrysolite sebelum dilakukan proses *leaching*. Setelah dilakukan proses *leaching* menggunakan asam sulfat, pola XRD pada penelitian yang dilakukan oleh wang dkk tahun 2012 mengalami perubahan. Perbedaan pola XRD tersebut berjalan seiring dengan bertambahnya acid/ore (a/o) rasio, dimana kenaikan *acid/ore* rasio sangat mempengaruhi proses reaksi dari proses *leaching* tersebut. Pada proses *leaching* terjadi beberapa persamaan reaksi pada temperatur kamar (25°C) yaitu :

$FeCO_3(s) + 2\ HCl(aq) = CO_2(g) + H_2O(l) + FeCl_2(aq)$……...….(4.1)

$\Delta G° = -43{,}911848$ kJ/mol

$FeO(OH)(s) + 3HCl(aq) \rightarrow 2H_2O(l) + FeCl_3(aq)$……..…...(4.2)

$\Delta G° = +73{,}652624$ kJ/mol

$Mg_3(Si_2O_5)(OH)_4(s) + 6HCl(l) \rightarrow 2SiO_2(s) + 3MgCl_2(aq) + 5H_2O(l)$…….(4.3)

$\Delta G° = +151{,}3624$ kJ/mol

$3\ Fe_3O_4 + 8HCl(aq) \rightarrow FeCl_2(aq) + 4H_2O(l) + 2FeCl_3(aq) + 3Fe_2O_3(s) + H_2(g)$……....(4.4)

$\Delta G° = +187,\ 14564$ kJ/mol

$Fe_2O_3(s) + 6HCl(aq) \rightarrow 2FeCl_3(aq) + 3H_2O(l)$……..…..(4.5)

$\Delta G° = +142{,}703$ kJ/mol

$NiO(s) + 2HCl(aq) \rightarrow NiCl_2(aq) + H_2O(l)$……(4.6)
$\Delta G° = -22{,}284$ kJ/mol

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Gilkes, 1981) menyebutkan bahwa goethite merupakan mineral yang sulit untuk bereaksi dengan asam klorida dibandingkan magnetite dan maghemite. Pada penelitian yang dilakukan oleh Morgan et al (1977) yang telah disadur oleh (Lavkulich, SCHREIER, & Wilson, 2014) bahwa chrysotile yang di *leaching* menggunakan 1M HCl dapat mengurangi Mg secara signifikan. Sehingga Mg terpecah menjadi residu. Hal tersebut sangat baik untuk proses *leaching* dikarenakan Mg adalah unsur penghambat pada proses *leaching*. Karena Mg sendiri lebih reaktif dari pada yang unsur lainnya yang ada pada Chrysotile, dan HCl juga sebagai asam yang reaktif sehingga dapat mengikat Mg . Reduksi Chrysotile juga sangat dipengaruhi oleh konsentrasi larutan asam dan tempetarur, semaking tinggi temperatur dan semakin tinggi konsentrasi maka akan terbentu silica hidrat (SiO_2). Magnetite dan juga siderite. Banyak mineral karbonat lainnya bereaksi dengan asam klorida. Masing-masing mineral ini terdiri dari satu atau lebih ion logam yang dikombinasikan dengan ion karbonat ($CO3^-$). Kimia reaksi ini mirip dengan reaksi kalsit di atas. Mineral bereaksi dengan asam klorida untuk menghasilkan gas karbon dioksida, air, ion logam terlarut, dan klorin terlarut. Ketika HC mulai bereaksi dengan carbonat akan menimbulkan bunyi mendesis, dan terjadi gelembung karbon dioksida yang adalah bukti bahwa reaksi sedang terjadi. Ketika itu terjadi, kalsit atau mineral karbonat lainnya hadir.

Pada Persamaan reaksi 4.1 $FeCO_3$ atau yang bisa disebut dengan siderite membutuhkan konsentrasi larutan yang tinggi dan untuk temperatur tinggi untuk dapat terlarut secara sempurna kedalam larutan. Oleh karena itu pada penelitian yang dilakukan oleh wang tahun 2012, hasil residu yang ditunjukkan pada Gambar 4.9 menunjukkan masih adanya siderite yang tersisa (Golubev, Bénézeth, Schott, Dandurand, & Castillo, 2009). Pada Persamaan

reaksi 4.2 hingga 4.5 memiliki *gibss free energy* yang bernilai positif pada temperatur kamar yang menandakan bahwa reaksi tersebut tidak terjadi secara spontan pada suhu tersebut sehingga membutuhkan energi bantuan dari luar agar dapat terjadi seperti dinaikkanya temperatur, peningkatan konsentrasi asam larutan. Pada penelitian yang dilakukan oleh Wang (2012), *leaching* dilakukan pada suhu 100 ℃ sehingga *gibss free energy* berubah menjadi spontan karena adanya penambahan temperatur sebagai energi bantuan agar reaksi tersebut terjadi. Dapat dilihat pada grafik sebelum *leaching* tidak didapatkan Hematite atau Fe_2O_3 akan tetapi pada residu yang terbentuk terdapat hematite, hematite tersebut didapatkan dari reaksi antara magnetite atau Fe_3O_4 dengan HCl yang membentuk $FeCl_3$ dan Fe_2O_3 pada reaksi 5 dan hal tersebut menandakan bahwa reaksi tersebut terjadi karena adanya kenaikan temperatur yang membuat *gibss free energy* bernilai negatif dan reaksi dapat terjadi.

Unsur nikel pada laterite, pada umumnya berbentuk oksida (NiO) pada limontie dan silikat dalam saprolit. Pada penelitan yang dilakukan oleh Wang (2012) bijih yang digunakan adalah bijih nikel laterit bertipe limonit. Unsur nikel pada laterite tidak membentuk senyawa sendiri, akan tetapi bergabung dengan senyawa lain seperti Fe_2O_3.NiO atau dengan senyawa (Fe,Ni)OOH. NiO yang bereaksi dengan HCl membentuk $NiCl_2$ pada Persamaan reaksi 4.6

Pada penelitian yang dilakukan oleh kursunoglu tahun 2016 didapatkan pola XRD sebelum dan sesudah proses *leaching* pada Gambar 4.10. Pada pola XRD tersebut didapatkan peak utama atau peak dominan pada *kuarsa* (SiO_2). Goethite, dan calcite, sedangkan untuk peak kecil atau peak pengotor pada hasil XRD tersebut ada yang berupa kaolinite, lizardite, albite, hematite, asbolane dan serpentiine. Pada proses *leaching*, mineral – mineral tersebut akan bereaksi dengan asam sulfat atau H_2SO_4, dengan reaksi umum pada temperatur kamar (25℃) sebagai berikut :

$CaCO_3(s) + H_2SO_4(aq)- + H_2O(l) \rightarrow CaSO_4 \cdot 2H_2O(s) + CO_2(g)$.....(4.7)

$\Delta G° = +187, 14564$ kJ/mol

$Fe_2O_3(s) + 3H_2SO_4(s) \rightarrow Fe_2(SO_4)_3(aq) + 3H_2O(l)$.....(4.8)

$\Delta G° = -148,31$ kJ/mol

$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O(s) + 3H_2SO_4(aq) \rightarrow Al_2(SO_4)_3(aq) + 2SiO_2(s) + 5H_2O(l)$.....(4.9)

$\Delta G° = -537,2064$ kJ/mol

$2FeOOH(s) + 3H_2SO_4(aq) \rightarrow Fe_2(SO_4)_3(aq) + 4H_2O(l)$.....(4.10)

$\Delta G° = -639,584$ kJ/mol

$Fe_2O_3(s) + 3H_2SO_4(aq) \rightarrow Fe_2(SO_4)_3(aq) + 3H_2O(l)$.....(4.11)

$\Delta G° = -148,31$ kJ/mol

$NiO(s) + H_2SO_4(aq) \rightarrow NiSO_4(aq) + H_2O(l)$.....(4.12)

$\Delta G° = -109,265$ kJ/mol

$CoO(s) + H_2SO_4(aq) \rightarrow CoSO_4(aq) + H_2O(l)$.....(4.13)

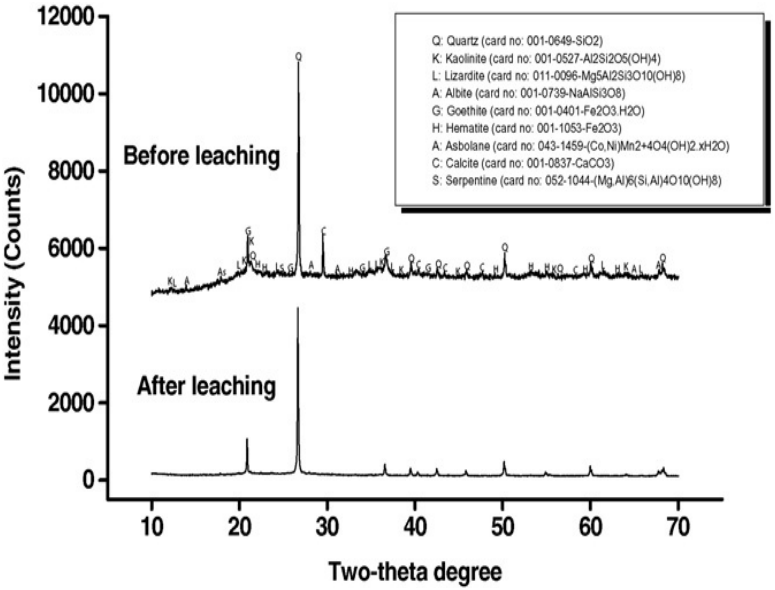
$\Delta G° = -115,36$ kJ/mol

$2NaAlSi_3O_8(s) + 4H_2SO_4(aq) \rightarrow Na_2SO_4(s) + Al_2(SO_4)_3(aq) + 6SiO_2(s) + 4H_2O(l)$.....(4.14)

$\Delta G° = -615,081$ kJ/mol

$Mg_3Si_2O_5(OH)_4(s) + 6H_2SO_4(aq) \rightarrow 3Mg^{2+}(s) + 6HSO_4^-(aq) + 5H_2O(l) + 2SiO_2(s)$.....(4.15)

$\Delta G° = -620,53438$ kJ/mol



Gambar 4. 10 Perbandingan Pola XRD sebelum *leaching* dan sesudah *leaching* pada penelitian (Kursunoglu & Kaya, 2016).

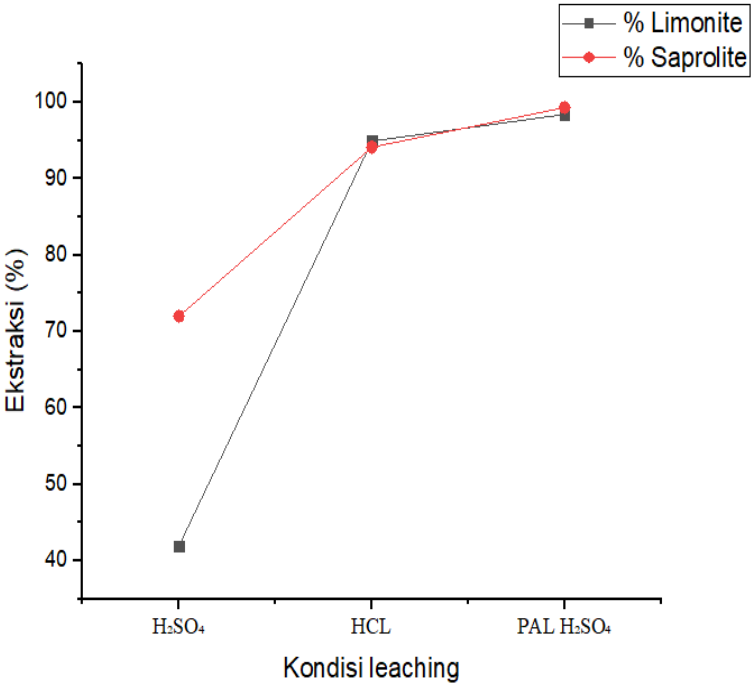
Pada akhir *leaching*, peak yang didapatkan adalah calcite, *kuarsa*, dan goethite, sedangakan untuk peak kecil atau pengotor seperti kaolinite,dan hematite semua sudah bereaksi dengan asam sulfat. Pada reaksi antara calcite dengan asam sulfat terjadi pembentukan endapan yang tidak larut (kalsium sulfat, $CaSO_4$) yang mengendap (karena gravitasi) pada permukaan yang bereaksi, yang dapat menghambat proses *leaching.* Setelah kristal / molekul pertama terbentuk, kalsium sulfat dapat berevolusi dengan cara yang berbeda, beberapa di antaranya membawa ke dispersi yang tidak mempengaruhi proses netralisasi, sementara yang lain menghasilkan endapan yang melapisi spesies kimia yang hadir di dalam sistem, membuat mereka tidak mampu bereaksi. (Fusi, Primicerio, & Monti, 2015). Untuk SiO_2 atau biasa disebut *kuarsa*, sangat sulit bereaksi dikarenakan *kuarsa* dalam suhu rendah tidak berekasi dengan zat lainnya. Pada suhu tinggi pun *kuarsa*

cenderung secara kimia sangat stabil, hal itu yang menyebabkan hasil proses *leaching* didominasi oleh *kuarsa* yang sangat sulit sekari bereaksi, dibutuhkan suhu sekitar 300°C - 700°C dan pada bereaksi. *Kuarsa* sendiri dihasilkan dari reaksi kaolinite, lizardite, ddan albite.

Hasil *leaching* pada penelitian tersebut, yang dapat dilihat pada Gambar 4.10 memperlihatkan bahwa efeisiensi *leaching* pada penelitian tersebut sangat bagus. Peak peak mineral pada bijih nikel laterite dapat terpecah ataupun larut dalam larutan *leaching* sehingga residu yang didapatkan hanya berupa quartz yang sejatinya sangat sulit larut dalam asam sulfat. Hal tersebut sesuai dengan Persamaan reaksi 4.7 hingga 4.15 yang memiliki *gibss free energy* bernilai negatif (-), hal tersebut juga menunjukkan bahwa reaksi yang terjadi selama proses *leaching* pada penlitian Kursunoglu (2016) berlangsung secara spontan tanpa perlu tambahan energi atau bantuan energi dari luar. Karena pada Persamaan reaksi 4.7 hingga 4.15 bernilai positif pada temperatur kamar maka apabila reaksi tersebut diberi energi lagi dari luar seperti penambahan temperatur, dan konsentrasi asam maka, gibbs free energy akan semakin negatif dan juga ekstraksi Ni atau *yield* Ni yang didapatkan semakin tinggi juga.

Bijih nikel pada laterite pada penilitian yang dilakukan kursunoglu (2016) menggunakan bijih nikel laterit yang bertipe limonit sama seperti pada penilitian yang dilakukan oleh Wang (2012). Unsur nikel pada penelitian tersebut juga berupa oksida yaitu NiO. Reaksi NiO dengan H_2SO_4 menghasilkan $NiSO_4$ (Habbache, Djerad, & Tifouti, 2017).

4.3 Pengaruh tipe larutan dan konsentrasi asam larutan *leaching* terhadap *yield* Ni



Gambar 4. 11 Perbandingan perbedaan kondisi *leaching* terhadap *yield* unsur Ni

Pada Gambar 4.11 , penelitian yang dilakukan oleh (Harris & Magee, 2003) menunjukkan bahwa dalam ketiga metode atau kondisi *leaching* yang dilakukan, *pressure acid leaching* (PAL) menghasilkan ekstraksi Ni tertinggi, tapi apabila dibandingkan dalam *atmospheric leaching*, *leaching* menggunakan HCl lebih menghasilkan ekstraksi Ni yang lebih tinggi dibandingkan dengan *leaching* menggunakan H_2SO_4. Pada *leaching* menggunakan asam sulfat, adanya penghambat seperti magnesium yang memperumit

studi kimia larutan laterit adalah kemungkinan pembentukan garam logam sulfat monohidrat divalen pada temperatur tinggi, misalnya $MgSO_4 \bullet H_2O$. Senyawa ini dapat mengkristal dan terpisah dari larutan dalam kondisi autoklaf, hanya untuk larut kembali pada saat depresurisasi dan pendinginan. Kelarutan garam monohidrat juga tergantung pada keasaman; kelarutan meningkat dengan meningkatnya keasaman. Menambah kandungan magnesium menghasilkan ekstraksi nikel yang semakin kecil, terutama pada penambahan asam yang lebih rendah. Namun, hasil menunjukkan bahwa ekstraksi nikel yang tinggi dapat diperoleh terlepas dari kandungan magnesium, asalkan ditambahkan asam yang cukup (Chalkley, Collins, Iglesias, & Tuffrey, 2010) Pada proses *leaching*, besi juga menjadi masalah dalam semua proses hidrometalurgi. Dalam sistem *atmospheric leaching* sulfat, ada opsi untuk menghilangkan sebagian besar besi sebagai jarosit, seperti yang dilakukan dalam industri seng.

Secara umum larutan HCl jika dibandingkan dengan H_2SO_4, memiliki derajat kelarutan asam (Ka) yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan H_2SO_4. Derajat kelarutan asam menetukan apakah larutan tersebut termasuk kedalam asam kuat atau asam lemah. Asam yang lebih kuat memiliki K_a yang lebih besar dan konstanta logaritma yang lebih kecil ($pK_a = -\log K_a$). Pada Tabel 4.6, nilai Ka HCl lebih tinggi jika dibandingkan dengan nilai Ka pada H_2SO_4. Semakin kuat suatu asam, semakin mudah ia kehilangan proton, H^+. Dua faktor utama yang menyumbang kemudahan mengalami deprotonasi adalah polaritas ikatan H—A dan ukuran atom A, yang menentukan kekuatan ikatan H—A. Kekuatan asam juga tergantung pada kestabilan basa konjugatnya. Sehingga HCl cenderung lebih mudah kehilangan proton atau ion H^+. Bahkan, dilaporkan bahwa agresivitas klorida dalam pelarutan oksida logam disebabkan oleh pembentukan kompleks kloro sebagai spesies yang teradsorpsi dengan nilai konstanta adsorpsi yang tinggi yang mengarah pada peningkatan disolusi oksida logam (Senanayake G. , 2007)

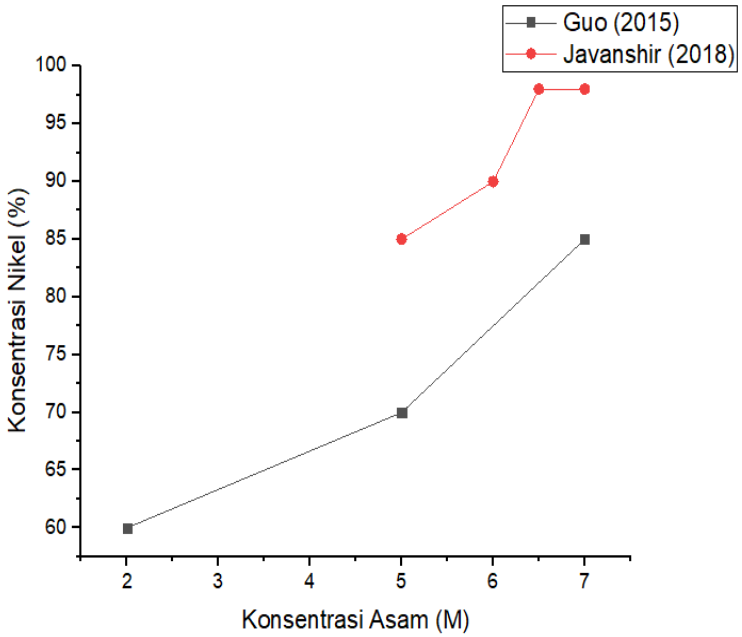
Tabel 4. 6 Nilai Ka dalam berbagai larutan asam.

Chemical Name	Formula Structure	K_A Value, 1st Proton	K_A Value, 2nd Proton
Hydrochloric Acid	HCl	1.3×10^{6}	N/A
Sulfuric Acid	H_2SO_4	1.0×10^{3}	1.2×10^{-2}
Nitric Acid	HNO_3	2.4×10^{1}	N/A
Oxalic Acid	$H_2C_2O_4$	5.4×10^{-2}	5.4×10^{-5}
Chromic Acid	H_2CrO_4	9.6	3.2×10^{-7}
Phosphoric Acid	H_3PO_4	7.1×10^{-3}	6.3×10^{-8}
Hydrofluoric Acid	HF	6.6×10^{-4}	N/A
Citric Acid	$C_6H_8O_7$	7.5×10^{-4}	1.7×10^{-5}
Benzoic Acid	C_6H_5COOH	6.3×10^{-5}	N/A

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Javanshir, Mofrad, & Azargoon, 2018) pada konsentrasi asam yang berbeda 2, 5 dan 7 M didapatkan hasil ekstraksi yang semakin naik seiring dengan bertambanhnya konsentrasi asam dengan hasil terbesar didapatkan pada konsentrasi H_2SO_4 sebesar 7M dengan ekstraksi Ni sebesar 85%. Pada penelitan yang dilakukan oleh (Guo, et al., 2015) juga mengalami kenaikan ekstraksi Ni seiring dengan bertambahnya konsentrasi asam, dengan hasil terbesar didapatkan pada konsentrasi HCl pada 6,5 M dengan ekstraksi Ni sebesar 99 %. Pada Gambar 4.12, kedua penelitian tersebut didapatkan hasil yang sesuai dengan teori, yaitu semakin bertambahnya konsentrasi asam semakin cepat reaksi yang terjadi.

Kenaikan konsentrasi nikel yang berbanding lurus dengan kenaikan konsentrasi asam. Suatu zat yang bereaksi mempunyai konsentrasi yang berbeda-beda. Konsentrasi menyatakan pengaruh kepekatan atau zat yang berperan dalam proses reaksi. Semakin besar nilai konsentrasi, maka laju reaksi akan semakin cepat. Hal ini dikarenakan zat yang konsentrasinya besar mengandung jumlah partikel yang lebih banyak, sehingga partikel-partikelnya tersususn lebih rapat dibanding zat yang konsentrasinya rendah. Partikel yang susunannya lebih rapat, akan sering bertumbukan dibanding

dengan partikel yang susunannya renggang, sehingga kemungkinan terjadinya reaksi makin besar (Utami, 2009). Konsentrasi mempengaruhi laju reaksi, karena banyaknya partikel memungkinkan lebih banyak tumbukan, dan itu membuka peluang semakin banyak tumbukan efektif yang menyebabkan reaksi dapat terjadi secara cepat.

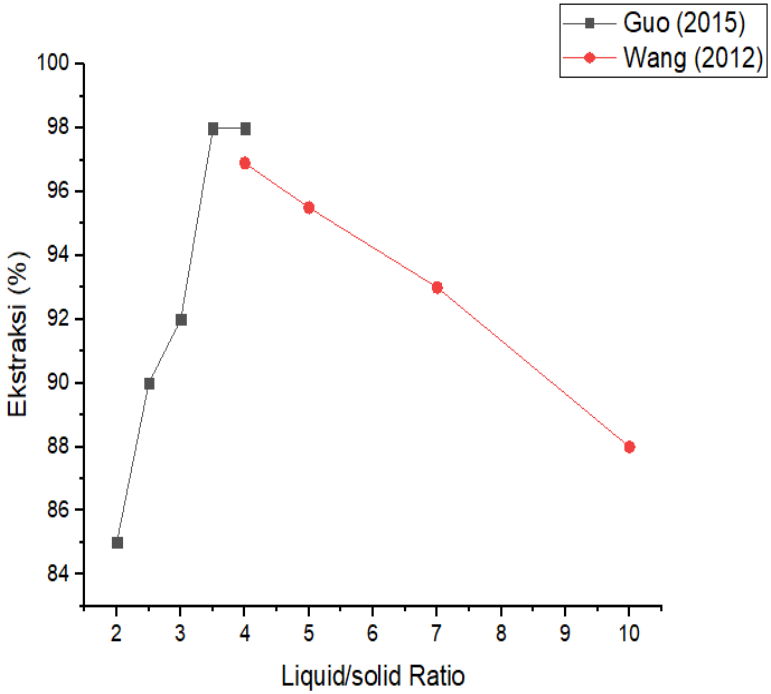


Gambar 4. 12 Grafik pengaruh konsentrasi asam terhadap nikel yang terekstraksi

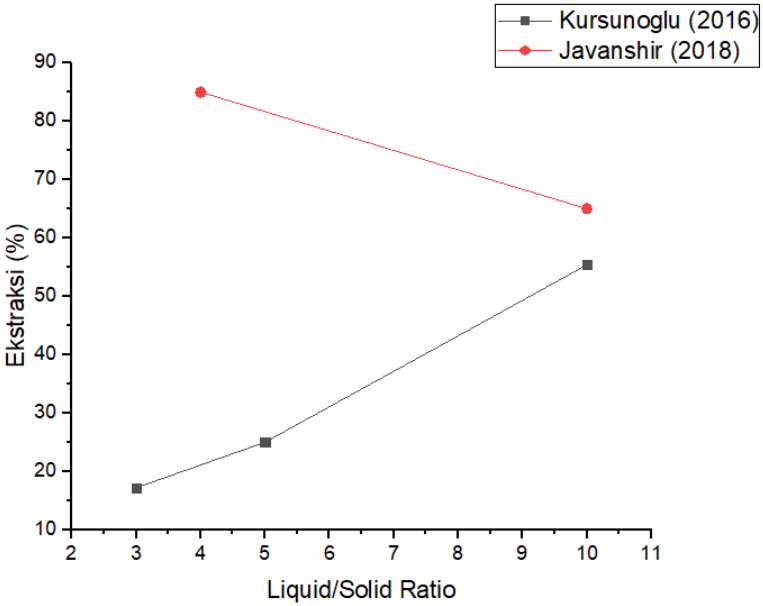
Kemudian bila dibandingkan dengan proses *leaching* yang menggunakan pelarut asam khlorida nampaknya proses metalurgi hidrometalurgi yang menggunakan pelarut HCl lebih efektif jika dibandingkan dengan asam sulfat dengan hasil yang didapatkan pada pelarut HCl lebih banyak mengekstraksi Ni hampir mencapai 100% walaupun masih perlu dibuktikan lebih lanjut dalam skala

yang lebih besar berdasarkan (McDonald & Whittington, 2008). Walaupun proses pelarutan dengan asam telah dikembangkan namun proses ini masih menghadapi kendala terutama dengan adanya unsur pengotor dalam bijih seperti magnesium yang akan mengkonsumsi asam sehingga menurunkan efisiensi pemakaian asam (Subagja & Firdiyono, 2015). Demikian juga dalam proses pengolahan bijih nikel laterit melalui jalur metalurgi piro, bahwa karakteristik bijih akan mempengaruhi proses, untuk bijih yang mempunyai perbandingan $SiO_2/MgO < 2$ atau $> 2,5$ akan lebih cocok untuk digunakan dalam pembuatan ferronikel, sedangkan bijih yang mempunyai perbandingan SiO_2/MgO antara 2,3-2,5 mempunyai sifat yang sangat korosif terhadap lapisan bata api dan untuk bijih mempunyai perbandingan SiO_2/MgO antara 1,8-2,2 lebih cocok untuk membuat nikel *matte* (Dalvi, Bacon, & Osbrone, 2004) .

4.4 Pengaruh rasio *liquid/solid* terhadap *yield* Ni



Gambar 4. 13 Pengaruh rasio *liquid/solid* terhadap *yield* unsur Ni dalam larutan HCL pada dua jurnal yang berbeda



Gambar 4. 14 Pengaruh rasio *liquid/solid* terhadap *yield* unsur Ni dalam larutan H_2SO_4 pada dua jurnal yang berbeda

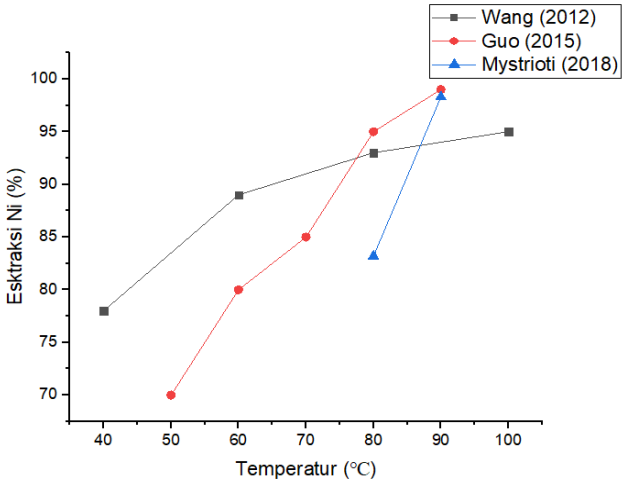
Hasil yang didapatkan dari beberapa literatur *review* mengenai pengaruh *liquid*/*solid* yaitu *liquid*/*solid* semakin tinggi seharusnya akan mengalami kenaikan *yield* pada unsur Ni, karena banyaknya ion hidrogen dalam larutan yang mempercepat reaksi *leaching* sesuai dengan teori yang dijelaskan oleh (Youcai, et al., 2014), akan tetapi akan terjadi penurunan ekstraksi Ni jika jumlah *liquid* terlalu sedikit jika dibandingkan dengan jumlah *solid* maka larutan akan menjadi bubur dan mengental sehingga larutan semakin sullit untuk diaduk dan membuat turunnya ekstraksi Ni (Javanshir, Mofrad, & Azargoon, 2018).

Bisa dilihat pada Gambar 4.14, meskipun dalam kondisi *liquid/solid* yang tinggi, namun pada penelitian yang dilakukan oleh Javanshir (2018), memperlihatkan terjadi penurunan pada

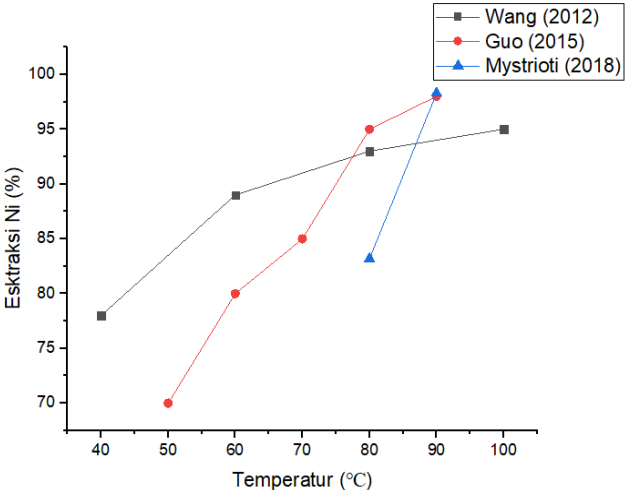
bertambahnya rasio *liquid*/*solid*, hal tersebut terjadi karena pada penelitian tersebut semakin tinggi rasio *liquid*/*solid* semakin menurunnya jumlah bijih laterit yang dilarutkan, sehingga pada rasio *liquid*/*solid* yang tinggi hanya terdapat kandungan Ni yang sedikit karena semakin berkurangnya berat atau jumlah dari bijih tersebut. Sedangkan pada penelitian yang dilakukan oleh (Wang, et al., 2012) pada Gambar 4.13, terjadi penurunan pada *liquid*/*solid* yang semakin tinggi dikarenakan pada penelitian yang dilakukan oleh Wang (2012) terjadi pengenceran larutan HCl dengan air, pada penelitian tersebut peningkatan *liquid*/*solid* berbanding terbalik dengan jumlahnya HCl, karena agar mendapatkan rasio *liquid*/*solid* yang tinggi, penelitian wang menambahkan air atau H_2O dengan kadar HCl yang tetap sehingga terjadi pengenceran yang berakibat pada turunnya molaritas HCl. Karena semakin tinggi rasio *liquid*/*solid* maka semakin banyak air yang digunakan dan semakin menurunnya molaritas HCl sehingga logam Ni tidak dapat terekstraksi dan terlarut karena konsentrasi HCl terlalu kecil dan meyebabkan terjadinya penurunan *yield* atau ekstraksi Ni.

Pada percobaan *leaching* menggunakan HCl, unsur Ni yang didapatkan atau terekstraksi lebih besar jika dibandingkan dengan *leaching* menggunakan H_2SO_4 dengan rasio *liquid*/*solid* yang sama namun didapatkan hasil yang lebih tinggi pada *leaching* menggunakan HCL, pada Gambar 4.13, unsur Ni tertinggi yang dapat terekstraksi bisa mencapai 99 %, sedangkan pada *leaching* menggunakan H_2SO_4 pada gambar 4.14 didapatkan unsur Ni tertinggi sebesar 85 % dengan rasio *liquid*/*solid* terbaik berada pada 4.

4.5 Pengaruh temperatur terhadap *yield* Ni



Gambar 4. 15 Pengaruh temperatur terhadap *yield* unsur Ni dalam larutan H_2SO_4 pada dua jurnal yang berbeda



Gambar 4. 16 Pengaruh temperatur terhadap *yield* unsur Ni dalam larutan HCl pada dua jurnal yang berbeda

Pada umumnya reaksi akan berlangsung dengan semakin cepat jika dilakukan dengan pemanasan. Pemanasan berarti penambahan energi kinetik partikel sehingga partikel akan bergerak lebih cepat, akibatnya tumbukan yang terjadi akan semakin sering Setiap partikel selalu bergerak. Dengan menaikkan temperatur, energi gerak atau energi kinetik partikel bertambah, sehingga tumbukan lebih sering terjadi. Dengan frekuensi tumbukan yang semakin besar, maka kemungkinan terjadinya tumbukan efektif yang mampu menghasilkan reaksi juga semakin besar. Suhu atau temperatur ternyata juga memperbesar energi potensial suatu zat. Zat-zat yang energi potensialnya kecil, jika bertumbukan akan sukar menghasilkan tumbukan efektif. Hal ini terjadi karena zat-zat tersebut tidak mampu melampaui energi aktivasi. Dengan menaikkan suhu, maka hal ini akan memperbesar energi potensial, sehingga ketika bertumbukan akan menghasilkan reaksi.

Hasil yang didapatkan dalam literatur *review* mengenai pengaruh temperatur dalam *leaching* bijih nikel laterit yaitu semakin tingginya temperatur sangat mempengaruhi laju reaksi pada proses *leaching*, seperti yang dijelaskan oleh (Mcdonald & Whittington, 2008a), temperatur yang lebih tinggi meningkatkan kinetika ekstraksi nikel untuk AL berbasis. Namun, telah ditunjukkan bahwa perbedaan dalam ekstraksi nikel pada temperatur yang berbeda berkurang dengan waktu *leaching* yang diperpanjang dan atas dasar ini, menurut Canterford (1978a) yang telah disadur oleh (Mcdonald & Whittington, 2008a) mengindikasikan bahwa "mungkin secara ekonomis dan / atau secara teknologi layak untuk *leaching* pada 65 ° C untuk suatu waktu yang lebih lama daripada untuk melepaskan pada refluks untuk waktu yang terbatas. Karena adanya batasan maksmial dimana bijih nikel dapat bereaksi pada temperatur tertentu sehingga lebih efisien apabila menambahkan waktu proses daripada menambahkan temperatur.

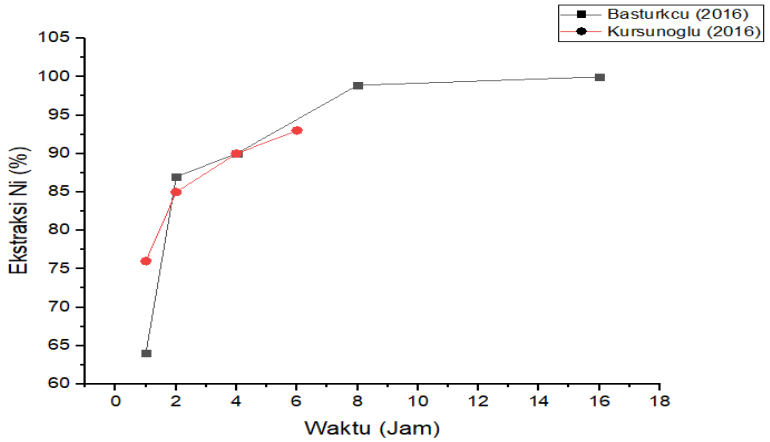
Pada penelitian yang dilakukan Wang (2012) dan Guo (2015), dan Mystrioti (2018) *leaching* menggunakan HCl menunjukkan hasil sesuai dengan teori yang ada, yaitu semakin tingginya

temperatur semakin bertambahnya ekstraksi Ni pada Gambat 4.16. Pada kedua penlitian tersebut didapatkan ekstraksi Ni tertinggi sebesar 99 % dan temperatur paling efektif berada pada temperatur 90°C.

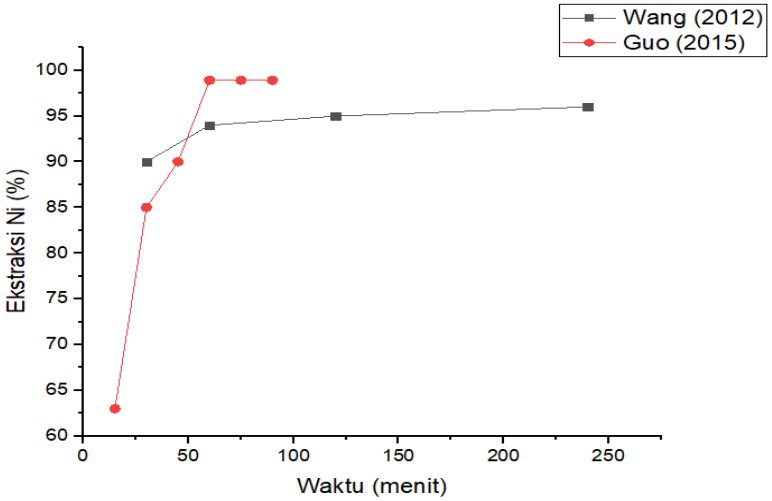
Pada penilitian yang dilakukan oleh Kursunoglu (2016), Altansukh (2014) dan Mystrioti (2018) pada Gambar 4.15 mengenai *leaching* menggunakan H_2SO_4 juga sesuai dengan teori yang ada yaitu seamkin tinggi temperatur semakin tinggi juga Ni yang terekstraksi. Namun pada penelitian yang dilakukan oleh Altansukh (2014) terdapat penurunan kurva setelah temperatur 90°C. Hal tersebut terjadi dikarenakan reaksi sudah selesai terjadi pada temperatur 90 °C dan menyebabkan menurunnya kurva tersebut. Pada kedua penelitian tersebut didapatkan temperatur *leaching* optimum pada suhu 90 °C dengan ekstraksi terbesar sebesar 92%.

Perbandingan antara leaching dengan menggunakan larutan HCl dan H_2SO_4 didapatkan hasil paling efektif untuk mengesktraksi logam Ni dari bijih nikel laterit dengan paramter temperatur adalah dengan menggunakan larutan HCl, karena bisa dilihat pada Gambar 4.15 dan Gambar 4.16, hasil terbaik didapatkan pada larutan HCl dengan % ekstraksi Ni sebesar 99% jika dibandingkan dengan larutan H_2SO_4 hanya mendapatkan ekstraksi Ni sebesar 92%.

4.6 Pengaruh waktu *leaching* terhadap *yield* Ni



Gambar 4. 17 Pengaruh waktu terhadap *yield* unsur Ni dalam larutan H_2SO_4 pada dua jurnal yang berbeda



Gambar 4. 18 Pengaruh waktu *leaching* terhadap *yield* unsur Ni dalam larutan HCL pada dua jurnal yang berbeda

Laju reaksi adalah perubahan konsentrasi dari reaktan ataupun produk per satu satuan waktu. Untuk reaksi dengan reaktan A dan B menghasilkan produk C dan D seperti, seiring waktu jumlah molekul reaktan A dan B akan berkurang dan jumlah molekul produk C dan D akan bertambah.

Dari hasil beberapa penelitian yang telah dilakukan, dijelaskan bahwa bertambahnya waktu semakin meningkatkan ektraksi dari logam Ni, hal itu dikarenakan setiap reaksi membutuhkan waktu, agar kedua zat dapat bereaksi menjadi senyawa baru, akan tetapi reaksi pada suatu unsur atau senyawa tersebut memeliki batasan atau titik optimum, yaitu waktu dimana semua senyawa sudah berubah atau habis bereaksi. Oleh karena itu setelah mencapai waktu optimum kurva *leaching cenderung mendarat* , hal bisa terjadi akibat semua senyawa sudah habis bereaksi dengan senyawa lain.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Wang (2012) dan Guo (2015) pada Gambar 4.18 mengenai *leaching* dengan menggunakan larutan HCl, didapatkan hasil sesuai teori yaitu semakin lama waktu proses *leaching* semakin tinggi juga ekstraksi Ni, namun pada kedua penelitian tersebut didapatkan pada waktu diatas 90 menit kenaikan kurva tidak terlalu signifikan atau meningkat dengan tajam. Hal itu menunjukkan pada waktu diatas 90 menit hampir semua unsur Ni sudah terekstraksi dengan ekstraksi tertinggi berada pada 99%.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Kursunoglu (2016) dan Basturkcu (2016) pada Gambar 4.17 mengenai *leaching* dengan menggunakan larutan H_2SO_4 didapatkan hasil juga sesuai dengan teori yang ada. Pada penelitian Basturkcu (2016) waktu *leaching* diatas 8 jam ekstraksi Ni tidak mengalami kenaikan yang signifikan dan didapatkan ektraksi tertinggi 98,2%.

Perbandingan antara leaching dengan menggunakan larutan HCl dan H_2SO_4 didapatkan hasil paling efektif untuk mengesktraksi logam Ni dari bijih nikel laterit dengan paramter waktu adalah dengan menggunakan larutan HCl, karena bisa dilihat pada Gambar 4.17 dan Gambar 4.18, hasil terbaik

didapatkan pada larutan HCl dengan % ekstraksi Ni sebesar 99% dengan waktu yang jauh lebih cepat yaitu 90 menit jika dibandingkan dengan larutan H_2SO_4 hanya mendapatkan ekstraksi Ni sebesar 98,2% yang membutuhkan waktu jauh lebih lama yaitu 8 jam.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari literatur *review* ini adalah :

1. Pada data dari *paper* yang di *review*, *leaching* menggunakan HCl masih menyisakan logam logam berharga yang seharusnya masih dapat diekstrak dari bijih nikel laterit. Terjadi pembentukan Hematite pada reaksi Magnetite dengan HCl. Pada kedua *paper* tersebut,masing masing residu masih banyak menyisakan quartz atau SiO_2. Unsur Ni pada kedua *paper* yang berupa NiO dan bereaksi dengan HCl dan H_2SO_4 menjadi $NiCl_2$ dan $NiSO_4$.
2. *Leaching* dengan menggunakan larutan HCl dengan konsentrasi yang sama dengan H_2SO_4 lebih menghasilkan % nikel yang lebih tinggi. Pada *leaching* dengan H_2SO_4 didapatkan Ni sebesar 85% dengan konsentrasi sebesar 7M sedangkan pada HCl sebesar 99 % dengan konsentrasi sebesar 6,5 M
3. Pada percobaan *leaching* menggunakan HCl, Unsur Ni yang didapatkan atau terekstraksi lebih besar jika dibandingkan dengan *leaching* menggunakan H_2SO_4 dengan rasio *liquid*/*solid* terbaik yaitu 4. Pada *leaching* menggunakan HCl, ekstraksi Ni tertinggi yang dapat terekstraksi bisa mencapai 99 % dengan rasio *liquid*/*solid* didapatkan sebesar 3,5, sedangkan pada *leaching* menggunakan H_2SO_4, didapatkan ekstraksi Ni tertinggi sebesar 85 % dengan rasio *liquid*/*solid* terbaik berada pada rasio 4.
4. Pada kedua metode *leaching* pada HCl maupun H_2SO_4 kenaikan temperatur mempengaruhi kenaikan ekstraksi Ni. Pada *leaching* menggunakan HCl, ekstraksi Ni tertinggi didapatkan sebesar 99 % pada temperatur 90°C, sedangkan pada H2SO4, ekstraksi Ni tertinggi didapatkan sebesar 92 % pada temperatur 90°C.

5. Dari kedua *leaching* dengan larutan yang berbeda yaitu HCl dan H_2SO_4 didapatkan data bahwa kedua *leaching* tersebut hampir sama besarnya yaitu 99% dan 98,2%, akan tetapi waktu yang diperlukan oleh *leaching* H_2SO_4 lebih lama jika dibandingkan dengan *leaching* dengan menggunakan HCl. Pada HCl hanya membutuhkan waktu selama 90 menit, dan pada H_2SO_4 membutuhkan waktu selama 8 jam.

5.2 Saran

Adapun saran dari dan bagi penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Perlu dibahas lebih detail lagi mengenai parameter *leaching* pada setiap jurnal, karena pembahasan mengenai setiap paramaeter cenderung singkat dan tidak detail.
2. Perlu memberikan reaksi yang terjadi pada senyawa yang ada pada bijih dengan larutan asam sehingga dapat mengetahui fenomena dan senyawa apa yang terbentuk pada filtrat maupun residu.
3. Dari beberapa parameter terbaik dari setiap metode leaching, dapat digunakan sebagai acuan untuk digunakan dalam dunia industri, sehingga metode hydrometalurgi dapat berkembang pesat sehingga menghasilkan logam nikel berkadar tinggi dari bijih nikel laterit.
4. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai limbah agar tidak mencemari lingkungan.
5. Mengolah limbah atau benda yang mengandung nikel dengan metode leaching untuk mendapatkan logam nikel dari barang barang tersebut
6. Menggabungkan pyrometalurgi dan hydrometalurgi, karena di Indonesia cenderung menggunakan metode pirometalutgi, oleh sebab itu maka setelah melalui proses pirometalurgi dengan kadar Ni yang belum tinggi, dilakukan metode hidrometalurgi untuk mendapatkan

logam Ni murni dan untuk mengurangi biaya apabila kedua metode tersebut didirikan sendiri – sendiri.

5.3 Kritik

Adapun kritik mengenai paper yang telah saya review adalah sebagai berikut :

1. Banyak dari paper tersebut tidak mencantumkan atau memberikan karakterisasi hasil proses leaching, sehingga tidak diketahui kandungan apa saja yang ada pada larutan hasil leaching. Karena hal tersebut dapat memberikan pengetahuan untuk lebih dapa meng efisienkan proses leaching.
2. Kurang detailnya informasi yang diberikan mengenai setiap paratamater, hanya memberikan hasil sesuai dengan grafik atau data yang ada.
3. Karakterisasi material tidak dijelaskan secara detail, hanya menyebutkan kandungan dari hasil karaterisasi.
4. Tidak terdapatnya reaksi yang terjadi pada proses leaching, sehingga tidak dapat diketahui mengapa senyawa tersebut dapat terbentuk atau bereaksi.
5. Pada *paper* tidak dijelaskan berapa besar jumlah bijih yang masuk, berapa larutan yang digunakan dan konsentrasi asam pada proses tersebut, sehingga menyulitkan analisa dan pembahasan.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

Agacayak, T., & Zedef, V. (2012). Dissolution kinetics of a lateritic nickel ore in sulphuric acid medium. *Acta Montanistica Slovaca*, 33 - 41.

Altansukh, B., Haga, K., & Shibayama, A. (2014). Recovery of Nickel and Cobalt from a Low Grade Laterite Ore. *Graduate School of Engineering and Resource Science* (pp. 100 -109). Akita: Akita University.

Anggraeni, N. D. (2008). Analisa SEM (Scanning Electron Microscopy) dalam Pemantauan Proses Oksidasi Magnetite Menjadi Hematite. *Seminar Nasional - VII Rekayasa dan Aplikasi Teknik Mesin di Industri* (pp. 52 - 53). Bandung: Kampus ITENAS .

Anne Oxley, M. E. (2015). Why heap leach nickel laterites? *Minerals Engineering*.

Anne Oxley, N. B. (2013). Hydro–pyro integration in the processing of nickel laterites. *Minerals Engineering*, 2.

Basturkcu, H., & Acarkan, N. (2015). LEACHING BEHAVIOUR OF A TURKISH LATERITIC ORE IN THE PRESENCE OF ADDITIVES. *Physicochemical Problems*, 112 - 123.

Bhargava, S. K., Pownceby, M. I., & Ram, R. (2016). Hydrometallurgy. *Metals*, 122.

Bulut, G. (2006). Recovery of copper and cobalt from ancient slag. *Waste Management & Research*, 118 - 124.

Bunjaku, A., Kekkone, M., & Holappa, L. (2010). PHENOMENA IN THERMAL TREATMENT OF LATERITIC NICKEL ORES UP TO 1300ºC. *The Twelfth International Ferroalloys Congress Sustainable Future* (pp. 641 - 642). Helsinki: Aalto University School of Science and Technology.

Burger, P. (1996). *Origins and characteristics of lateritic deposits.* Kalgoorlie: The Australasian Institute of Mining And Metallurgy.

Butt, C. R., & Cluzel, D. (2013). Nickel Laterite Ore Deposits:Weathered Serpentinites. *Elements*, 123 - 128.

BÜYÜKAKINCI., E., & TOPKAYA, Y. A. (2009). Extraction of nickel from lateritic ores at atmospheric pressure with agitation leaching. *Hydrometallurgy*, 33-38.

Cahit, H., K., S., G, N., Q, T., G, I., S, H., & P., O. (2017). Mineralogy and genesis of the lateritic regolith related Ni-Co deposit of the Çaldağ area (Manisa, western Anatolia), Turkey. *Canadian Journal of Earth Sciense.*

Chalkley, M. E., Collins, M. J., Iglesias, C., & Tuffrey, N. E. (2010). Effect of Magnesium on Pressure Leaching of Moa Laterite Ore. *Canadian Metallurgical Quarterly*, 227 - 234.

Dalvi, A. D., Bacon, W. G., & Osbrone, R. C. (2004). The past and future of nickel latertites. *PDAC 2004 International Convention*, (pp. 1 - 27).

Everhart, J. L. (1971). *Engineering Properties of Nickel and Nickel Alloys.* New York : Plenum Press.

Fahruddin, Dwyana, Z., & Soekendarsih, E. (2018). *Pengelolaan Limbah Pertambangan Secara Biologis: Biological Management of Mining Waste (IND SUB).* Celebes Media Perkasa.

Fusi, L., Primicerio, M., & Monti, A. (2015). A model for calcium carbonate neutralization in the. *Applied Mathematical Modelling*.

Gilkes, J. K. (1981). Dissolution of Iron Oxides and Oxyhydroxides in Hydrochloric and Perchloric Acids. *Clays and Clay Minerals*, 269 - 276.

Girgin, I., Obut, A., & Üçyildiz, A. (2011). Dissolution behaviour of a Turkish lateritic nickel. *Mineral engineering*, 603 - 609.

Golubev, S. V., Bénézeth, P., Schott, J., Dandurand, J. L., & Castillo, A. (2009). Siderite dissolution kinetics in acidic aqueous solutions from 25 to 100 °C and 0 to 50 atm pCO2. *Chemical Geology*, 13 - 19.

Guo, Q., Qu, J., Han, B., Zhang , P., Song, Y., & Qi, T. (2015). Innovative technology for processing saprolitic laterite ores by hydrochloric acid atmospheric pressure leaching. *Minerals Engineering*, 1 - 6.

Habashi, F. (1997). *Handbook of Extractive Metallurgy.* Weinheim: Wiley.

Habashi, F. (2005). A short history of hydrometallurgy. *Hydrometallurgy*, 15 - 22.

Habbache, N., Djerad, S., & Tifouti, L. (2017). Optimization of the operation conditions for NiO dissolution with different leachants. *PROCESS ENGINEERING JOURNAL*, 59 - 67.

Haldar, S. (2013). *Mineral Exploration : Principles and Applications.* Oxford: Elsevier.

Haldar, S. (2017). *Platinum-Nickel-Chromium Deposits.* Cambridge, United Kingdom: Elsevier.

Harris, B., & Magee, J. (2003). ATMOSPHERIC CHLORIDE LEACHING: THE WAY FORWARD FOR NICKEL LATERITES. *Proceedings of the TMS Fall Extraction and Processing Conference* (pp. 501 - 515). Toronto: Chesbar Resources Inc.

Hasria, Anshari, E., & Rezky, T. B. (2019). Pengaruh Batuan Dasar dan Geomorfologi Terhadap Laterisasi dan Penyebaran Kadar Ni dan Fe Pada Endapan Nikel laterit PT. Tambang Bumi Sulawesi, Desa Pongkalaero, Kabupaten Bombana,Sulawesi Tenggara. *Geografi Aplikasi Dan Teknologi*, 47 - 58.

Havlík, T. (2008). *Hydrometallurgy : Principles and applications.* Cambridge, England: WOODHEAD PUBLISHING LIMITED.

Havlík, T. (2008). *Hydrometallurgy Principles and Applications.* Cambridge: Woodhead Publishing Limited.

Javanshir, S., Mofrad, Z. H., & Azargoon, A. (2018). Atmospheric pressure leaching of nickel from a low-grade nickel-bearing ore. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 890 - 900.

Kaya, M. (2018). *Waste Electrical and Electronic Equipment Recycling.* United Kingdom: Woodhead Publishing Series.

Kim J, D. G. (2009). Calcination of low-grade laterite for concentration of Ni by magnetic separation. *Journal of Mineral Engineering*.

Kursunoglu, S., & Kaya, M. (2016). Atmospheric pressure acid leaching of Caldag lateritic nickel ore. *International Journal of Mineral Processing*, 1-8.

Lakshamanan, V. I., Shirdar, R., Chen, J., & Halim, M. A. (2015). Development of mixed-chloride hydrometallurgical processes for the recovery of value metals from various resources. *Transactions of the Indian Institute of Metals* , 39 - 50.

Lavkulich, L. M., SCHREIER, H. E., & Wilson, J. E. (2014). Effects of natural acids on surface properties of asbestos minerals and kaolinite. *Journal of Environmental Science and Health, Part A: Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, 617 - 624.

Li, J., Xiong, D., Chen , H., Ruixiang, W., & Yong , L. (2012). Physicochemical factors affecting leaching of laterite ore in hydrochloric acid. *Hydrometallurgy*, 14 - 18.

Li, J., Xu, Z., Wang, R., Gao, Y., & Yang , Y. (2019). Study on leaching kinetics of laterite ore using hydrochloric acid. *Physicochemical Problem Mineral Process*, 711 - 720.

.

Listyarini, S. (2017). Designing Heap Leaching for Nickel Production that Environmentally and Economically Sustain. *International Journal of Environmental Science and Development*, 799 - 803.

Littlejohn, P. (2007). Technical Review: Copper Solvent Extraction in, Hydrometallurgy.

Liu, K., Chen, Q., & Hu, H. (2009). Comparative leaching of minerals by sulphuric acid in a Chinese ferruginous nickel laterite ore. *Hydrometallurgy*, 281 - 286.

MacCarthy, J., Addai-Mensah, J., & Nosrati, A. (2014). Atmospheric acid leaching of siliceous goethitic Ni laterite ore: effect of solid loading and temperature. *Mineral Engineering*, 154 - 164.

McDonald, R. G., & Whittington, B. I. (2008). Atmospheric acid leaching of nickel laterites review : Part II. Chloride and biotechnologies. *Hydrometallurgy*, 56 - 69.

Mcdonald, R. G., & Whittington, B. I. (2008a). Atmospheric acid leaching of nickel laterites review. Part I. sulphuric acid technologies. *Hydrometallurgy*, 35-55.

Michael S. Moats, W. G. (2014). Nickel and Cobalt Production. In S. Seetharaman, *Treatise on Process Metallurgy, Volume 3: Industrial Processes* (pp. 647 - 650). Stockholm, Sweden: Elsevier.

Muas, A. M. (2019). UPAYA CHINA DALAM MEMENUHI KEBUTUHAN NIKEL. *eJournal Ilmu Hubungan Internasional, 7*(3), 1199 - 1208.

Munasir, Triwikantoro, Zainuri, M., & Darminto. (2012). UJI XRD DAN XRF PADA BAHAN MENERAL. *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya (JPFA)*, 24.

Mystrioti, C., Papassiopi, N., Xenidis, A., & Komnitsas, K. (2018). Comparative Evaluation of Sulfuric and Hydrocloric Acid Atmospheric Leaching for the treatment of greek low grade nickel laterites. In D. B. Extraction, *The Minerals, Metals & Materials Series.* Springer, Cham.

Najah, A., Fuad, A., & Mufti, N. (2014). *PENGARUH KONSENTRASI NIKEL PADA PROSES LEACHING MINERAL GOETHITE TERHADAP SUSEPTIBILITAS MAGNETIK.* Malang: Jurusan FMIPA Universitas Negeri Malang.

Norgate, T. J. (2011). Assesing the energy and greenhouse gas footprint of nickle laterite processing. *Mineral Engineering.*

Onal, M. A., & Topkaya, Y. A. (2014). Pressure acid leaching of Çaldağ lateritic nickel ore: an alterantive to heap leaching. *Hydrometallurgy*, 98 - 107.

Oxley, A., Sirvanci, N., & Purkiss, S. (2007). Caldag nickel laterite atmospheric heap leach project. *Association Metall Engineer Serbia*, 5 - 10.

Oxley, A., Smith, M. E., & Caceres, O. (2015). Why heap leach nickel laterites? *Minerals Engineering*, 53 - 60.

Pehlke , R. D. (1973). *UNIT PROCESSES OF EXTRACTIVE METALLURGY.* ANN ARBOR, MICHIGAN , UNITED STATES OF AMERICA : AMERICAN ELSEVIER PUBLISHING COMPANY INC.

Prasetyo, P. (2016). SUMBER DAYA MINERAL DI INDONESIA KHUSUSNYA BIJIH . *Seminar Nasional Sains dan Teknologi* , 2 - 4.

Prasetyo, W. M. (2016). PROSES REDUKSI SELEKTIF BIJIH NIKEL LIMONIT MENGGUNAKAN. *Metalurgi*, 1 - 68.

Pratima Meshram, A. ,. (2019). Advanced Review on Extraction of Nickel from Primary and Secondary Sources. *MINERAL PROCESSING AND EXTRACTIVE METALLURGY REVIEW, 40*(3), 157 - 193.

Senanayake, G. (2007). Review of theory and practice of measuring proton activity and pH in concentrated chloride solutions and application to oxide leaching. *Minerals Engineering*, 634 - 645.

Senanayake, G., Childs, J., Akerstrom, B. D., & Pugaev , D. (2011). Reductive acid leaching of laterite and metal oxides - a review with new data for Fe(Ni,Co)OOH and limonitic ore. *Hydrometallurgy*, 13 - 32.

Setiawan, I. (2016). PENGOLAHAN NIKEL LATERIT SECARA PIROMETALURGI: KINI DAN PENELITIAN KEDEPAN. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi*.

Solihin, & Firdiyono, F. (2014). PERILAKU PELARUTAN LOGAM NIKEL DAN BESI DARI BIJIH NIKEL

KADAR RENDAH SULAWESI TENGGARA. *Majalah Metalurgi*, 139 - 144.

Subagja, R., & Firdiyono, F. (2015). Kinetika Reaksi Pelarutan Nikel Dari Kalsin Nikel Laterit. *Majalah Metalurgi*, 71 - 80.

Syafrizal. (2011). Karakterisasi Mineralogy Endapan Nikel Laterit di daerah Tinanggea Kabupaten Palangga Provinsi Sulawesi Tenggara. *Jurnal Teknik Metalurgi, 18*, 4.

T.E. Norgate, S. J. (2004). ALTERNATIVE ROUTES TO STAINLESS STEEL –A LIFE CYCLE APPROACH. *Proceedings: Tenth International Ferroalloys Congress; INFACON X: 'Transformation through Technology'* (p. 694). Cape Town, South Africa: Document Transformation Technologies.

Thubakgale , C. K., Mbaya, R. K., & Kabongo, K. (2013). A study of atmospheric acid leaching of a South African nickel laterite. *Minerals Engineering* .

Ubaldini, S., Piga, L., Fornari, P., & Massidda, R. (1996). Removal of iron from quartz sands: A study by column leaching using a complete factorial design. *Hydrometallurgy*, 369 - 379.

UCYILDIZ, A., & GIRGIN, I. (2017). HIGH PRESSURE SULPHURIC ACID LEACHING OF LATERITIC NICKEL ORE. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 475 - 488.

Utami, B. (2009). *Kimia Untuk SMA/MA KELAS XI Program Ilmu Alam.* Jakarta: Pusat Perbukuan Depatemen Pendidikan Nasional.

Vignes, A. (2011). *Extractive Metallurgy 2 : Metallurgical Reaction Processes.* United kingdom & United states: ISTE Ltd, John Wiley & Sons, Inc.

Wang, B., Guo, Q., Wei, G., Zhang , P., Qu, j., & Qi, T. (2012). Characterization and atmospheric hydrochloric acid leaching of a limonitic laterite. *Hydrometallurgy*, 7 - 13.

Wang, S. (2007). Aqueous *lixiviant*s: Principle, types, and applications. *JOM: the journal of the Minerals, Metals & Materials Society*, 37 - 42.

Youcai, L., Qingquan, L., Lifeng, L., Jiangang, F., Zhongsi, Z., Chongqing, W., & Dong, Q. (2014). Study on hydrometallurgical process and kinetics of manganese extraction from low-grade manganese carbonate ores. *International Journal of Mining Science and Technology*, 567 - 571.

Zhang, X. A. (2013). Effects of Reagent Concentration and Particle Size. *Acta Physica Polonica*.

LAMPIRAN

A. Jurnal yang di*review*

Adapun jurnal yang dijadikan sebagai sumber dari data sekunder yang digunakan di dalam *review* adalah sabagai berikut

1. Jurnal Pertama (Harris & Magee, 2003)

ATMOSPHERIC CHLORIDE LEACHING:
THE WAY FORWARD FOR NICKEL LATERITES

Bryn Harris and John Magee

Chesbar Resources Inc.[1],
55, University Avenue, Suite 910, Toronto, Ontario M5J 2H7, Canada

ABSTRACT

Chesbar Resources Inc.[1] is developing a nickel-cobalt laterite project in Guatemala, Central America, by applying existing atmospheric chloride technology to a known resource. The tropical laterite project has an inferred resource of 133 million tonnes grading 1.51% nickel, which represents ~20% of Chesbar's land holdings in Guatemala. Within its boundaries, the Sechol area has a measured resource of 14 million tonnes grading 1.46 % nickel and 0.08% cobalt, and an indicated resource of 23 million tonnes grading 1.34% nickel and 0.08% cobalt. Notwithstanding the impressive overall resource, the company has taken an innovative approach to a laterite project and is concentrating on El Inicio, a high-grade starter pit with five million tonnes grading 2.1% nickel and 0.08 % cobalt. The process flowsheet is based on atmospheric chloride leaching in a slightly acidic magnesium chloride brine, solution purification by recycled magnesia, precipitation of a mixed nickel/cobalt hydroxide intermediate product, and lixiviant regeneration by modified pyrohydrolysis technology. Initial results suggest that >90% of the contained nickel and cobalt in the non-magnetic fraction of the feed can be recovered, with <5% of the iron leaching. A metallurgical scoping study has established preliminary capital and operating costs for a production facility at a proposed rate of 20,000 tonnes per year of nickel as the intermediate mixed hydroxide. A preliminary assessment of producing a magnesium oxide by-product has also been carried out. This paper reports on the current development of the project and highlights the advantages of working in a chloride medium at atmospheric pressure and slightly elevated temperatures.

2. Jurnal Kedua (Kursunoglu & Kaya, 2016)

Zoom in (Ctrl+Plus)

International Journal of Mineral Processing 150 (2016) 1–8

Contents lists available at ScienceDirect

International Journal of Mineral Processing

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ijminpro

Atmospheric pressure acid leaching of Caldag lateritic nickel ore

Sait Kursunoglu *, Muammer Kaya

Department of Mining Engineering, Division of Mineral Processing, Eskisehir Osmangazi University, 26480 Eskisehir, Turkey

ARTICLE INFO

Article history:
Received 30 July 2014
Received in revised form 12 March 2016
Accepted 15 March 2016
Available online 16 March 2016

Keywords:
Atmospheric leaching
Laterite
Caldag
Nickel extraction
Cobalt extraction

ABSTRACT

Nickel, cobalt and iron were extracted from Caldag lateritic nickel ore under atmospheric pressure acidic leaching conditions. The following variables were examined to understand their effects on extraction: sulphuric acid concentration, liquid-to-solid ratio, leaching temperature, leaching time, and particle size. After 6 h of leaching, 91.9% Ni, 93.5% Co and 80.5% Fe were obtained under the following conditions: 2 M H_2SO_4, 90 °C, liquid-to-solid ratio = 10/1 (mL/g), stirring speed = 500 rpm, and laterite particles <0.053 mm. The results indicated that there is no benefit gained in the leaching of nickel by grinding finer than 0.150 mm under the conditions explored, whereas the greatest cobalt extraction was achieved with the use of the finest particles. XRD and SEM–EDX results verified that nickel was associated with asbolane, goethite/hematite and clay-like mineral phases. In addition, kinetic analyses of the nickel extraction revealed an activation energy of 51.6 kJ/mol.

© 2016 Elsevier B.V. All rights reserved.

1. Introduction

Nickel is a strategic metal of vital importance in modern industrial and metallurgical applications. Nickel naturally occurs in two forms, sulphides and laterites. The depletion of high-grade nickel sulphide ores, high cost of fuels and implementation dictate the future production of nickel from lateritic nickel ores. Lateritic nickel ore deposits are surficial, weathered rinds formed on ultramafic rocks. Land-based nickel resources of approximately 1% have been discovered to contain roughly 130 million tons of nickel. About 60% is in laterites and 40% is in sulphide deposits. Manganese crusts and nodules on the ocean floor also contain considerable resources of nickel (Kuck, 2015). Conventional mineral processing techniques cannot be readily applied to lateritic ores because nickel is hosted in various mineral phases (Whittington and Muir, 2000; Girgin et al., 2011; Onal and Topkaya, 2014). However, considerable amounts of nickel and cobalt have been recovered from lateritic nickel ores through thermal pre-treatment, the use of high concentrations of mineral acids, and leaching at elevated temperatures (McDonald and Whittington, 2008a; Li et al., 2009; Luo et al., 2010; Girgin et al., 2011). in the EPAL process was less than in atmospheric leaching with iron precipitation as jarosite (Liu et al., 2004). Low levels of sulphuric acid were used to extract nickel and cobalt from nickel laterite ores using the SALT method, in conjunction with relatively low levels of iron extraction (Dreisinger and Clucas, 2013). However, pregnant hydrochloric acid leach solutions are more amenable to downstream processing by solvent extraction and spray roasting a final nickel oxide product (Gibson and Rice, 1977). Compared to the conventional techniques, bioleaching of the lateritic nickel ores is less expensive and consumes less energy. In bioleaching, liberation of nickel and cobalt is due to a variety of organic acids produced by different bacteria (Valix et al., 2001; Mohapatra et al., 2007; Tang and Valix, 2006). In DNi, which is currently being demonstrated by CSIRO in Western Australia (WA), nitric acid is used instead of sulphuric acid to extract nickel in a matter of several hours and is then regenerated and recycled (McCarthy and Brock, 2015). A major advantage of this method is that it can treat both limonite and saprolite ores, which is estimated to constitute less than half of the capital and operating costs of high pressure acid leaching (HPAL) or ferronickel processes (Guo et al., 2015).

3. Jurnal ketiga (Wang, et al., 2012)

Hydrometallurgy 129–130 (2012) 7–13

Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

Hydrometallurgy

journal homepage: www.elsevier.com/locate/hydromet

Characterization and atmospheric hydrochloric acid leaching of a limonitic laterite from Indonesia

Baoquan Wang [a,b,c], Qiang Guo [a,b], Guangye Wei [a,b,d], Peiyu Zhang [a,b,c], Jingkui Qu [a,b,*], Tao Qi [a,b]

[a] National Engineering Laboratory for Hydrometallurgical Cleaner Production Technology, Beijing 100190, China
[b] Key Laboratory of Green Process and Engineering, Institute of Process Engineering, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China
[c] Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China
[d] School of Materials Science and Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China

ARTICLE INFO

Article history:
Received 23 February 2012
Received in revised form 27 April 2012
Accepted 26 June 2012
Available online 14 July 2012

Keywords:
Limonitic laterite
Nickel
Cobalt
Iron
Atmospheric hydrochloric acid leaching

ABSTRACT

The characterization and atmospheric hydrochloric acid leaching of a limonitic laterite from Indonesia were investigated in the current paper. The mineral and chemical compositions of the laterite were studied by X-ray diffraction (XRD) analysis, optical microscopy, scanning electron microscopy/X-ray energy dispersive spectroscopy (SEM/EDS), carbon/sulfur (C–S) analysis, and Fe(II) content titration. The laterite mainly contained goethite, siderite (~16.6 wt.%), chrysotile, and magnetite (~14.6 wt.%); Ni was incorporated in all major minerals. Complete leaching of the host minerals in hydrochloric acid was investigated, given that economical regeneration of the acid by hydrolysis was possible. Atmospheric leaching experiments were carried out to investigate the effect of acid-ore ratio (*a/o*), liquid-solid ratio (*l/s*), leaching temperature and time on the leach recovery of Ni (95.1%), Co (99.0%), and Fe (94.6%). Siderite and chrysotile in the ore were highly leachable; goethite dissolved in a wide range of *a/o*; magnetite and maghemite were moderately active.

© 2012 Published by Elsevier B.V.

1. Introduction

Laterite is an important nickel oxide ore that amounts to ~70% of the global land-based Ni reserves (Dalvi et al., 2004). With the depletion of the nickel sulfide supply, the extraction of Ni from laterites has become increasingly attractive (Norgate and Jahanshahi, 2010; Taylor, 1995). However, nickel laterite has always been difficult to process because of its low-grade and complex mineralogy (Sudol, 2005; Swamy et al., 2003). The chemical and mineral compositions of laterites from different origins or even from different depths at one area can vary significantly, and thus, different metallurgical options should be used. Therefore, a specific mineralogical research should always be conducted whenever a new laterite sample is found.

2009). Most of the iron in laterite ores is trivalent because of laterization, which is a long-term mechanical and chemical weathering of ultramafic rocks (Guo et al., 2011; Loveday, 2008). However, some researchers reported the presence of divalent iron [Fe(II)] in saprolitic laterites and believed that Fe(II) substituted Mg in serpentine [$Mg_3Si_2O_5(OH)_4$] (Rubisov and Papangelakis, 2000). The presence of Fe(II) in limonitic laterites has also been reported (Liu et al., 2010; Loveday, 2008), but the Fe(II) content and distribution were not specified. In the current paper, a low-grade limonitic laterite containing Fe(II) from Indonesia was investigated. The mineral and chemical compositions of the laterite were comprehensively studied by XRD analysis, optical microscopy, SEM/EDS, C–S analysis, and the Fe(II) after leaching was determined by titration. Minerals like siderite ($FeCO_3$) and magne-

4. Jurnal keempat (Guo, et al., 2015)

Minerals Engineering 71 (2015) 1–6

Contents lists available at ScienceDirect

Minerals Engineering

journal homepage: www.elsevier.com/locate/mineng

Innovative technology for processing saprolitic laterite ores by hydrochloric acid atmospheric pressure leaching

Qiang Guo, Jingkui Qu, Bingbing Han, Peiyu Zhang, Yunxia Song, Tao Qi *

National Engineering Laboratory for Hydrometallurgical Cleaner Production Technology, Beijing 100190, China
Key Laboratory of Green Process and Engineering, Institute of Process Engineering, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

ARTICLE INFO

Article history:
Received 24 March 2014
Accepted 14 August 2014

Keywords:
Saprolitic laterite ores
Hydrochloric acid
Atmospheric leaching
Spray hydrolysis
Ferro-nickel

ABSTRACT

An innovative technology for processing saprolitic laterite ores from the Philippines by hydrochloric acid atmospheric leaching and spray hydrolysis is proposed. The factors that affect the hydrochloric acid atmospheric leaching of the laterite ores and spray hydrolysis of the atmospheric acid leach solution are investigated. Experimental results show that the leaching of Ni, Fe, and Mg is 98.9 wt%, 97.8 wt%, and 80.9 wt%, respectively, under optimal acid leaching conditions. The hydrolysis of Ni and Fe by the atmospheric acid leach solution approaches 100 wt% at the temperature range of 450–500 °C. Characterization results show that a serpentine mineral, nominally $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$, is the major component and goethite, FeO(OH), is the minor one in the laterite ores. Treatment by hydrochloric acid atmospheric leaching breaks the mineral lattices of the laterite ores and makes amorphous silica the primary product in the atmospheric acid leach residue. The grade of Ni in the hydrolyzate increases to 4.55%. The hydrolyzate with high Ni content can be utilized for ferro-nickel production.

© 2014 Elsevier Ltd. All rights reserved.

1. Introduction

Nickel is a strategic metal mainly utilized in the preparation of stainless steel and non-ferrous alloys with impact strength, corrosion resistance, and other electrical, heat, and magnetic properties (Li et al., 2012). The increased demand for nickel has depleted easily extractable Ni sulfide deposits and caused the mining industry to develop lateritic extraction technologies (Landers et al., 2009). Approximately 60% of land-based nickel reserves are contained in laterite ores (Luo et al., 2010). Laterite ores are iron-rich soil types formed under tropical climates through the prolonged mechanical and chemical weathering of ultramafic (ultra-basic) rocks (Loveday, 2008).

2013; Wang et al., 2012). In particular, APAL for processing nickel laterite ores has become a research hotspot in hydrometallurgy because of the method's use of small equipment, mild reaction conditions, and low technical risk. However, the difficult separation of Ni from Fe in the acid leach solution and the large amount of acid consumption render the industrial application of APAL technology difficult (Zhang, 2012). The iron-containing mineral lattices of laterite ores must be broken to extract completely the Ni embedded in the lattices. Ni and Fe must be leached at the same time. This condition results in high iron concentration (>120 g/L) and low nickel concentration (2–3 g/L) in the acid leach solution. Traditional methods of removing iron from the acid leach solution, including neutralization, precipitation, and solvent extraction

5. Jurnal kelima (Basturkcu & Acarkan, 2015)

Physicochem. Probl. Miner. Process. 52(1), 2016, 112−123

www.minproc.pwr.wroc.pl/journal/

Physicochemical Problems of Mineral Processing

ISSN 1643-1049 (print)
ISSN 2084-4735 (online)

Received October 31, 2014; reviewed; accepted April 17, 2015

LEACHING BEHAVIOUR OF A TURKISH LATERITIC ORE IN THE PRESENCE OF ADDITIVES

Huseyin BASTURKCU, Neset ACARKAN

Istanbul Technical University, Mining Faculty, Mineral Processing Engineering Department, Istanbul, Turkey, basturkcu@itu.edu.tr

Abstract: This paper investigates the dissolution mechanism of a lateritic nickel ore from the Caldag Region of Manisa in Turkey. The ore sample contained 1.2% Ni, 24.8% Fe, and 0.062% Co. The optimum leaching conditions were found to be temperature 80 ^{0}C, particle size -74 μm, H_2SO_4 concentration 200 g/dm^3, solids ratio (by weight) 10% and leaching duration 8 h. The extractions of 98.2% Ni, 98.6% Fe and Co 98.9% were obtained under these conditions. Additionally, the effects of additional substances such as NaCl, $Na_2S_2O_5$, Na_2SO_4, and KCl were investigated in order to decrease the leaching duration. The results showed that the additives accelerated the leaching kinetics and achieved nearly the same nickel and cobalt extractions at the end of 4 h compared to the results obtained after 8 h without the additives. If the additives containing chlorine were used, it was determined that the iron extraction showed no increase, although both the nickel and cobalt extractions increased.

Keywords: *laterite, nickel, agitation leaching, dissolution*

Introduction

There is a growing interest in improving the processing technology of lateritic nickel from huge reserves representing nearly 70% of the world nickel resources due to the declining nickel sulphide reserves (McDonald and Whittington, 2008). Although it is possible to process nickel sulphide ores using several methods such as flotation, the extraction of nickel from lateritic ores requires either pyrometallurgical or hydrometallurgical methods where high energy and reagent costs exist. While the cobalt content in the lateritic ores provides an economic advantage, the processing costs strongly depend on the mineralogy of the ore in which nickel can be hosted in a

6. Jurnal keenam (Altansukh, Haga, & Shibayama, 2014)

Resources Processing 61 : 100–109 (2014)

RESOURCES PROCESSING

Original Paper

Recovery of Nickel and Cobalt from a Low Grade Laterite Ore

Batnasan ALTANSUKH[1]*, Kazutoshi HAGA[1] and Atsushi SHIBAYAMA[1,2]

[1]Graduate School of Engineering and Resource Science, Akita University, Akita 010-8502, Japan
[2]Faculty of International Resource Science, Akita University, Akita 010-8502, Japan

Abstract

This study focused on the development of hydrometallurgical process which allows the nickel (Ni) and cobalt (Co) recovery from a low grade laterite ore. The developed process consists of two main stages: leaching and precipitation. In the first stage, an appropriate leach liquor which contains a relatively high nickel and cobalt concentration is prepared by chemical leaching and pressure leaching followed by separation steps, respectively. The effects of sulfuric acid concentration, leaching temperature and time, internal pressure in an autoclave on the efficient leaching of Ni and Co from a laterite ore were presented. In the next stage, the Ni and Co ions present in the liquor are co-precipitated as sulfides by sulfuration with sodium hydrosulfide (pH 3.8).

It was found that talc ($Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$), goethite (FeOOH) and quartz (SiO_2) are main minerals of the laterite ore which contains 48.12% Fe, 1.8% Al, 0.95% Ni, 0.07% Co, 0.29% Cr and 0.15% Mg. The high efficiency of pressure leaching for Ni and Co from the low grade laterite ore was revealed by comparing the chemical leaching results. The vast majority of Co (>97%) and Ni (55%) from the purified liquor resulting after neutralization with calcium carbonate ($CaCO_3$) was precipitated as mixed-sulfides by adjusting the NaHS/(Co + Ni) ratio to 3 by the addition of sulfuration agent (NaHS) at the solution pH of 3.8. Based on the experimental results, the efficient recovery of cobalt (Co) and nickel (Ni) from the low grade laterite ore can be achieved using the pressure leaching and neutralization treatment followed by sulfuration.

7. Jurnal Ketujuh (Javanshir, Mofrad, & Azargoon, 2018)

Physicochem. Probl. Miner. Process., 54(3), 2018, 890-900
http://www.journalssystem.com/ppmp

Physicochemical Problems of Mineral Processing
ISSN 1643-1049
© Wroclaw University of Science and Technology

Received July 18, 2017; reviewed; accepted March 1, 2018

Atmospheric pressure leaching of nickel from a low-grade nickel-bearing ore

Sepideh Javanshir, Zahra Heidari Mofrad, Ahmad Azargoon

Department of Mining, Faculty of Engineering, University of Birjand, Iran

Corresponding author: sjavanshir@birjand.ac.ir (Sepideh Javanshir)

Abstract: This study focused on the extraction of nickel from a low-grade lateritic ore. The characterization of representative samples was done by X-ray diffraction (XRD), X-ray fluorescence (XRF), and microscopic mineralogical studies. Nickel was uniformly distributed in iron (hydr)oxide minerals. The pre-concentration of nickel was attempted by magnetic separation, but was unsuccessful. The effect of the type of lixiviant, acid concentration, S/L ratio, time, and temperature were investigated in the atmospheric leaching process. Based on the experimental data, optimum conditions for the maximum recovery of nickel were determined under the following conditions: 5 M H_2SO_4, 25% (w/v), 90 °C, and two hours. Pre-calcination, for increasing nickel extraction by converting goethite to hematite, was carried out on raw ores at different times (30-180 minutes) and temperatures (180-540 °C). Recovery was found increasing from 69 to 95% under the same conditions. Kinetic studies were conducted by fitting the data with Shrinking Core (SC) models. The study determined, from the estimate of activation energy, that the rate of reaction controlled by chemical reaction.

Keywords: nickel recovery, laterite ore, leaching, calcination, kinetics

8. Jurnal kedepalan (Mystrioti, Papassiopi, Xenidis, & Komnitsas, 2018)

Comparative Evaluation of Sulfuric and Hydrochloric Acid Atmospheric Leaching for the Treatment of Greek Low Grade Nickel Laterites

Christiana Mystrioti, Nymphodora Papassiopi, Anthimos Xenidis and Konstantinos Komnitsas

Abstract Greece is the only EU country with extensive nickel laterite deposits. Since the 1960s, the Greek laterites are treated for ferronickel production via a pyrometallurgical route, which involves pre-reduction of the ore in rotary kilns and reduction smelting in electric arc furnaces. Due to the rising cost of energy and the decreasing grade of mined laterites, the pyrometallurgical treatment is economically marginal. For this reason, alternative treatment processes are currently under investigation. Potential applicability of hydrometallurgical treatment, using either H_2SO_4 or HCl, under atmospheric pressure conditions, for Ni and Co extraction from two low grade laterite ores, was examined in the present work. The two samples were selected to represent the different mineralogical composition of the saprolitic and limonitic ore deposits of the Greek laterites. The investigated parameters were temperature (65–90 °C), acid concentration (1–4 N) and solid to liquid ratio (10–30% w/v). The results indicated that HCl was more efficient than H_2SO_4 for the treatment of the saprolitic ore; Ni and Co extractions were very high for both elements, up to 98% and 96% respectively, while H_2SO_4 could leach efficiently Ni, up to 100%, but extracted only 34% of Co. Hydrochloric acid was also more efficient for the treatment of the limonitic ore, with Ni and Co extractions up to 98.3% and 87.6% respectively. With H_2SO_4 the maximum extractions were 71.3% for Ni and 52.1% for Co.

C. Mystrioti · K. Komnitsas
Department Mineral Resources Engineering, Technical University Crete, 73100 Chania, Greece
e-mail: christmyst@hotmail.com

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih saya ucapkan sebagai bentuk tanda terimkasih kepada seluruh pihak yang membantu dalam proses pengerjaan laporan tugas akhir dengan judul : "*Review* perbandingan efektivitas asam klorida dan asam sulfat dalam *Atmospheric leaching* bijih nikel laterit terhadap senyawa kimia dan *yield* unsur Ni". Ucapan Terimakasih penulis ucapkan kepada:

1. Allah SWT berkat rahmat, barokah, pertolongan dan bimbingannya penulis dapat menyelsaikan laporan tugas akhir
2. Keluarga baik kedua orang tua maupun kakak penulis yang selalu mendukung dan mendoakan penulis dalam menjalani masa kuliah ini.
3. Bapak Sigit Tri Wicaksono S.Si., M.Si., Ph.D selaku kepala jurusan teknik material dan Metalurgi.
4. Bapak Sungging Pintowantoro, S.T, M.T, Ph.D selaku dosen pembimbing dan ketua Laboratorium Teknologi pengolahan Mineral dan material yang telah banyak memberikan arahan dalam menyelesaikan Tugas akhir.
5. Bapak Fakhreza Abdul, S.T. M.T selaku dosen pembimbing sekaligus dosen wali penulis yang telah meluangkan waktu untuk bimbingan,ilmu dan juga masukan baik dalam hal tugas akhir ataupun hal lainnnya.
6. Anggota Lab ekstraksi Satrio, Iqbal, Mas Berryl, Henokh, Safira, Tetty, Erick, Mahanaim, Naufal, Amri, Rachnanta, Naufal Firdaus, Afni, Kevin, Fadeldevinto, Rizki, Najib dan Radite yang telah banyak membantu penulis dalam pengerjaan tugas akhir.
7. Teman semasa SMA Satrio, Ridho, Farel, Vondra yang memberikan banyak hiburan serta canda tawa dikala masa sulit saat pengerjaan tugas akhir ataupun di masa kuliah selama ini
8. Teman-teman angkatan MT 18 terutama anggota kontrakann mbambed ,Rafli, Afrizal, Arfan, Putra, Cici, Edwin, Handis, Fadhel, Nabil, arif rahman, Wardhana, Mirfa, Yoga Pradipta,

dan Daniel yang sudah membantu selama masa pengerjaan laporan tugas akhir ataupun selama masa kuliah ini.

9. Luckyta yang telah membuat saya semangat untuk segera menyelesaikan Tugas Akhir ini,
10. Semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung memberikan dukungan dalam penulisan laporan tugas Akhir ini

Surabaya, 21 Juli 2020
Penulis

Vito Valdano
02511640000102

BIODATA PENULIS

Penullis lahir di Surabaya 4 September 1998, merupakan anak kedua dari 2 bersaudara. Penulis menempuh Pendidikan dasar di SDN Dukuh Menanggal II/425 Surabaya, kemudian lanjut ke jenjang menengah di SMPN 22 Surabaya dan lanjut ke Pendidikan jenjang atas di SMAN 1 Gedangan Sidoarjo. Lalu Penulis melanjutkan Pendidikan tinggi di departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS Insititut Teknologi Sepuluh Nompember Surabaya, Jawa Timur.

Selama menempuh aktivitas perkuliahan penulis pernah aktif di berbagai organisasi mahasiswa. Penulis tercatat sebagai staff HMMT FTI-ITS 17/18, Staff UKM ITS Billiard 17/18. Kemudian penulis juga mengemban amanah sebagai Kepala Divisi Kesehatan dan Event KESMA HMMT FTI-ITS 18/19. Selain itu penulis juga aktif dalam berbagai kegiatan yang ada di tingkat kampus, dan berbagai pelatihan yang diadakan oleh pihak fakultas.

Selain itu Penulis juga mengikuti On Job Training di PT Vale indonesia pada Juli-Agustus 2019 dengan judul "Analisa *Crack* Pada Hasil Lasan *Pot Laddle* Di Area Central Maintenance PT. Vale Indonesia Tbk". Tugas akhir yang diambil penulis yaitu dalam bidang metalurgi ekstraksi dengan judul "*Review* perbandingan efektivitas asam klorida dan asam sulfat dalam *Atmospheric leaching* bijih nikel laterit terhadap senyawa kimia dan *yield* unsur Ni". Email penulis : vitovaldano@gmail.com